MANUAL DE PROGRAMACION Y CONTROL DE PROGRAMAS DE OBRA.

JULIO CESAR SANCHEZ HENAO

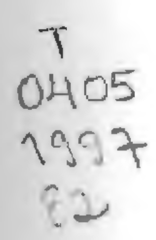
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

FACULTAD DE ARQUITECTURA

DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCION Y RECURSOS TECNICOS PARA LA EDIFICACION

MEDELLIN

1997



CONTENIDO

LISTA DE TABLAS

LISTA DE FIGURAS

INTRODUCCION

Pretendo con este libro que he denominado **Manual de Programación y Control de Programas de Obra**, que sea una herramienta importante para el aprendizaje fácil, claro y rápido, de los diferentes sistemas de programación a través de sus métodos de ordenamiento.

En éste se orienta a aquellas personas que deseen tener un conocimiento acerca de las formas de realizar una programación, que puede ser aplicable a programas específicos, rítmicos, de los diferentes procesos constructivos que como profesionales en el área de la construcción y en el campo estudiantil necesitamos saber. De la misma forma, la aplicación de estos programas y sus procesos de control, por medio de modelos.

En todo proyecto que pretendamos realizar, es de vital importancia aprender a planificar, programar y controlar; igualmente a interpretar y analizar sus resultados.

Espero entonces que este Manual que he realizado, sirva como apoyo a nuestra labor académica y profesional; que nos pueda servir de base para aprender a realizar diferentes procesos constructivos y que éstos se puedan controlar, a través del diseño de formatos para tal fin, teniendo en cuenta que el criterio personal, para desarrollarlos, es sumamente importante.

MANUAL DE PROGRAMACION Y CONTROL DE PROGRAMAS DE OBRA

CAPITULO I

1. PRINCIPIOS DE ADMINISTRACION

1.1 ADMINISTRACION DE PROGRAMAS.

1.1.1 Organización.

En el siglo XIX, desde 1887, el ingeniero americano *Frederik W. Taylor* definió la organización como: **"La ciencia de las relaciones entre los diferentes factores de la producción y especialmente entre el hombre y su herramienta de trabajo".**

Una organización debe establecer:

- Las políticas, expresando los valores o sistemas de valores que mantiene la organización y sus grupos o miembros de grupo.
- Diferentes tipos de planes para las actividades ajenas a los proyectos de la organización, como planes a corto, mediano o largo plazo, planes para las diferentes funciones y departamentos, planes estratégicos, etc.

- Definiciones de proyectos que deben ejecutarse para poder realizar las políticas establecidas y los planes correspondientes.

Las ideas y propuestas, pueden derivarse de los planes de la organización; por lo tanto, un proyecto puede caracterizarse con respecto a sus relaciones o sus efectos en los planes corrientes de la organización.

Es por eso, que la creación de políticas, los procesos de planificación, los procesos espontáneos que producen ideas y las propuestas de proyectos, son de naturaleza creadora, al mismo tiempo, el abundante flujo de ideas de alta calidad para mantener la organización en la misma línea con sus planes y para cambiar y/o ajustar estos mismos planes.

El flujo de ideas y la creatividad en una organización deberán estimularse por los siguientes medios:

- Asignando personas creadoras a tareas de trabajo creativo.
- Entrenando a individuos o a grupos de individuos para procesos técnicos creadores.
- Creando funciones o unidades organizativas permanentes.
- Permitiendo dentro de la organización, la constitución de grupos pequeños, que trabajen en labores específicas.

- Haciendo que todas las personas afectadas tomen parte en la creación de políticas a seguir y en los procesos de planificación de la organización.
- Cuidando que todas las ideas constructivas generadas se registren, de manera que no se pierdan a medio camino o se las guarden los mismos individuos.

Una organización, puede iniciar un proceso específico, temporal. Dicho proceso, compuesto de actividades, funcionará sobre uno o varios objetos, los cuales ya existen, o bien están postulados.

La organización ha estado siempre supeditada a la necesidad de progresar y es debido a esta necesidad, que se deben seguir una serie de etapas, éstas son:

- Sentir la necesidad: El hombre siente la necesidad de protección, y es por esto que aparecen las primeras viviendas, manifestación de la inteligencia de hacer, de construir, en forma evolutiva.
- Querer solucionar el problema, tomar la decisión
- Pensar en realizarlo.
- Los medios, recursos, materia prima, con que cuenta para realizar el proyecto o plan.
- Elaboración del proyecto.
- Verificación del proyecto. Comprobación.

- Devolución si el producto no sirve.
- Ejecución. Usarlo.
- Control.
- Mejoras.

1.1.2 Proyecto.

Un proyecto funciona sobre uno o varios objetos. Cada uno de estos objetos es:

- Un sistema: consistente de componentes, cada uno de éstos con sus características específicas, y relaciones o inter-acciones entre estos componentes. Una descripción del sistema, contiene información acerca de los niveles que hay en el sistema, que componentes hay en cada uno de estos niveles, las propiedades de cada componente, y las propiedades de todas las relaciones.

Un proceso: es decir, un conjunto de actividades o pasos de trabajo interdependientes, incluyendo puntos de decisión correspondientes, y procesos de decisión. Una descripción de un proceso, contiene información acerca de las actividades y pasos de trabajo que se ejecutan en el proceso, los métodos de trabajo y ayudas que se utilizarán cuando se ejecuten estas actividades y pasos de trabajo; la interdependencia mutua de las actividades.

La ejecución de un proyecto equivale a establecer, detallando sucesivamente, y manipular una descripción del sistema o del proceso, y cambiar o crearlos, de acuerdo con tal descripción.

Como ejemplos de objetos descritos, cambiados o creados durante la ejecución de un proyecto, podemos tener:

- Un producto, una línea o gama de productos.
- Un método de trabajo o ayuda técnica, para utilizarla en un proceso que puede ser de producción, de construcción, etc.
- Una estructura organizativa, o parte de ella.
- Un programa de computador.
- Un proceso de producción.
- Un proceso constructivo.
- Un proceso de mercadeo, etc.

La gestión administrativa, se desenvuelve fundamentalmente en base a proyectos, con un conjunto de actividades interdependientes orientadas a la realización de un determinado proceso, con un principio y un fin perfectamente definidos.

Todo proyecto elaborado, implica la ocurrencia de tres etapas:

- Planeación
- Programación
- Control.

Planeación: Es una visión del conjunto de actividades que deben desarrollarse en un proyecto.

Programación: Cuando el proyecto se asocia al factor tiempo, es decir cuando se calcula la duración de las diferentes actividades, iniciaciones y terminaciones, y se calcula la fecha de terminación.

Control: El administrador del proyecto, deberá recoger información sobre el avance del proceso, comparar lo programado con lo realizado; y hacer las modificaciones necesarias y de acuerdo a las circunstancias.

1.1.3. Productividad

La productividad se define como la relación entre la producción obtenida y los recursos utilizados para obtenerla.

Es directamente proporcional a los productos e inversamente proporcional a los recursos; de manera que cuando se quiere tener una mayor productividad, es necesario balancear los recursos, optimizándolos.

Entonces tenemos que:

$$\text{Productividad} = \frac{\text{Producción obtenida}}{\text{Recursos}}$$

En donde los recursos serán:

- Mano de obra.
- Materiales.
- Maquinaria y equipo.
- Financieros.
- Tiempo.
- Tecnología

1.2. SISTEMAS DE REDES.

En el desarrollo de los programas gerenciales, se involucró el método de la ruta crítica para su planeación y administración. Consiste principalmente, en la planeación, programación y control de un proyecto, o de un proceso, llevado a

un diagrama o red, en el cual se describe las etapas del proyecto, y su relación.

Esta técnica de redes o mallas, no sólo se utiliza para la organización de trabajos, sino también para establecer control y vigilancia, en la interrelación de diferentes procesos. De igual forma, nos permite:

- Visión del desarrollo de un proyecto a lo largo del tiempo, estableciendo claramente relaciones de precedencia entre sus actividades.
- Indicar puntos críticos en el cumplimiento de los objetivos propuestos.
- Aplicar medidas correctivas, luego de haber detectado los puntos críticos.
- Alternativas de planificación, para una óptima utilización de los recursos disponibles.
- Tiempos de iniciación y terminación de las etapas, sub-etapas, actividades, y sus variables.
- Duración del proyecto.
- Control del proyecto, de las etapas, sub-etapas y de las relaciones entre sus actividades.

1.3. DIAGRAMA DE BARRAS O GRAFICO DE GANTT.

Frederick W. Taylor y Henry L. Gantt , trabajaron intensamente en el desarrollo de métodos que permitieran agilizar procesos administrativos que se tornaban más complejos y difíciles. Fue entonces cuando *Gantt*, asociado con *Wallance Clark*, desarrollaron y aplicaron un método gráfico sencillo, un método administrativo para planear y controlar proyectos: EL DIAGRAMA DE *GANTT*.

El diagrama de *Gantt*, se ha constituido en un medio fundamental para realizar no sólo la planificación en la producción industrial, como en su principio se utilizó, sino en cualquier otro tipo de actividad. Se comenzó a utilizar para indicar una comparación entre lo programado y lo desarrollado o ejecutado realmente; en un principio se usó para cuantificar y controlar avance en tiempo, rendimiento de obreros y maquinaria. Los datos incluidos en el diagrama, varían con relación al tipo de trabajo; por eso, es diferente un diagrama de barras en un:

- proceso de producción
- proceso constructivo
- proceso teórico de planeación o
- proceso administrativo.

Los datos contenidos en un cuadro de *Gantt*, están sujetos a los requerimientos de la persona que realiza el programa o proyecto, en una manera diferente y personalizada, pero se deben seguir algunos parámetros:

- Ordenes de trabajo, que generalmente se presentan en la parte izquierda del diagrama.
- Escala horizontal de tiempos, en donde se colocan las duraciones previstas para la realización de cada orden.

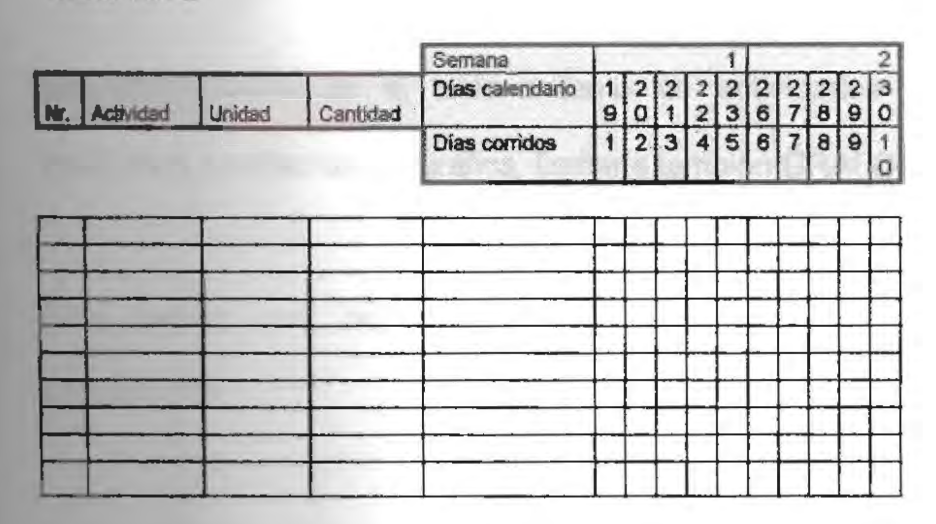
Entre las desventajas más sobresalientes del diagrama de barras, y que favorecen el uso de redes, están las siguientes:

- Es un elemento básicamente de control. La actualización permanente que requiere el gráfico, hace que este sea un instrumento más de control que de planeación.
- Presentan actividades que ocurren en secuencia cuando coinciden la fecha de terminación de unas actividades y de la iniciación de las que siguen, pero a la vez otras que se traslapan, sin que en ningún caso se precise la magnitud del trabajo indicado, ni lo que ocurre en un momento determinado.
- A mayor número de actividades, menos se puede precisar su interrelación.
- La subdivisión de actividades, para una más fiel representación del trabajo.
- Se realizan simultáneamente planificación y programación, conduciendo muchas veces a tareas con tiempos irreales.

Tabla Nr. 1

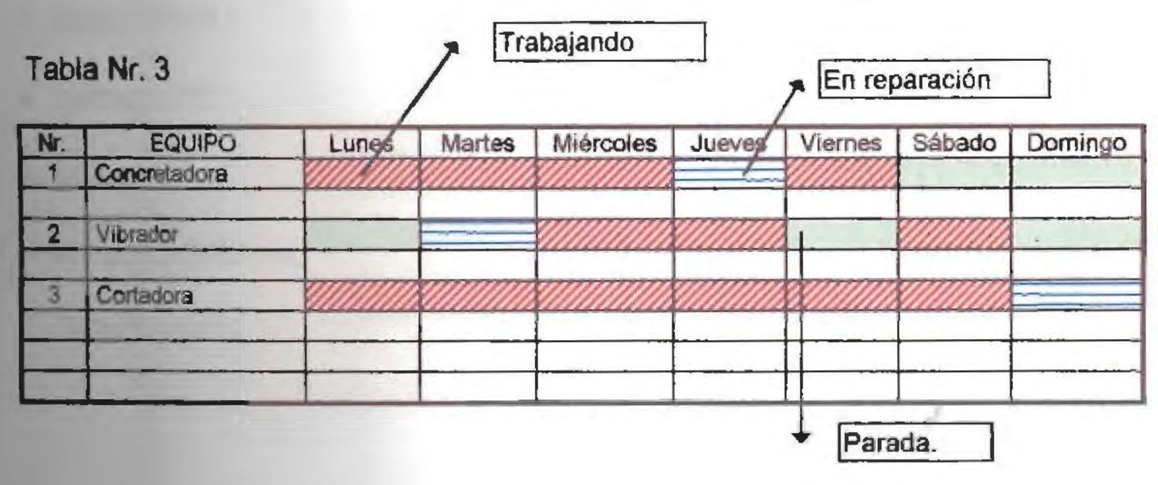
Nr.	Actividad	Duración Prog	Duración Real	Iniciación Prog	Iniciación Real	Terminación Prog	Terminación Real											
								Mes	MAYO									
								Semana					1					2
								Días calendario	19	20	21	22	23	26	27	28	29	30
								Días corridos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
12	TECHO	6	6	1	3	7	9	Programado										
								Real										
18	COCINA	2	1	3	3	5	4	Programado										
								Real										
25	AP. SANIT	2	3	4	5	6	8	Programado										
								Real										

Tabla Nr. 2



Nr.	Actividad	Unidad	Cantidad											
				Semana					1					2
				Días calendario	19	20	21	22	23	26	27	28	29	30
				Días corridos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Tabla Nr. 3



Nr.	EQUIPO	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
1	Concretadora							
2	Vibrador							
3	Cortadora							

CAPITULO II

2. SISTEMAS DE PROGRAMACION

2.1 METODOS DE ORDENAMIENTO.

Una programación es el ordenamiento de actividades de un proyecto, mediante la representación gráfica, llamada también GRAFO.

Para realizar una programación, encontramos diferentes métodos de ordenamiento:

- Método *PERT*
- Método *CPM*.
- Método *LPU*.
- Método *FONDHAL*.
- Método *KMPA*.

2.1.1. Método Pert.

El método PERT, o Técnica de evaluación y revisión de programas (*Program Evaluation and Review Technique*), fue desarrollado como consecuencia de los estudios e investigaciones realizados por la Marina Americana, en los últimos años de la década de los 50, más concretamente en el año de 1958, para agilizar la construcción del cohete *Polaris*. Trabajaban en el proyecto más de 3000 contratistas y agencias independientes y la tarea de coordinación era de gran complejidad, pues comprendía también sub-proyectos. Esto implicaba que pequeños contratistas pudieran demorar la entrega de una pieza pequeña, afectando el tiempo previsto para el conjunto del proyecto, con lo cual afectaban las esperanzas de terminar el proyecto en las fechas propuestas.

Con la asesoría de las firmas *LOCKHEDD*, *AIRCRAFT, ALLEN* y *HAMILTON*, se solicitaron propuestas de desarrollo de un programa con características especiales de incertidumbre. Este grupo, desarrolló el método PERT.

Inicialmente el PERT, se utilizó en investigaciones militares, pero en los años de 1961 y 1962, se amplió su objetivo inicial y se involucró a la mano de obra y a los costos; en 1963, se integró con la ingeniería de sistemas, para considerar en forma conjunta, la programación, los costos y la ejecución, de cualquier proyecto.

Como este método supone que el tiempo requerido para realizar las actividades de un proyecto no repetitivo no se conoce en forma anticipada, se incorporan las probabilidades en el análisis de sus tiempos, y el concepto de valor esperado para estimar la duración total de todo el proyecto.

El método PERT, supone que las actividades y sus relaciones en la red, están bien definidas, pero le da cabida a la incertidumbre en sus duraciones, y es por eso que este método trabaja con estimativos de tiempos, por lo cual se le conoce como un sistema probabilístico o estadístico. Debido a este factor, a cada actividad se le hacen tres estimativos de tiempos, que son:

- Tiempo optimista.
- Tiempo pesimista.
- Tiempo más probable.

Una de las características que debe tener un proyecto PERT, es que debe de ser un proyecto unitario , es decir que tenga una finalidad específica y no repetitiva. Es un método que posee dificultades para la realización de traslapos de tiempos.

2.1.2. Método CPM

El método CPM, Método de la Ruta Crítica (*Critical Path Metod*), fue desarrollado en Estados Unidos por la empresa *E.I. Dupont*, es muy parecido al *PERT*, y más aún contemporáneos. En 1956, la firma *Dupont de Nemours* realizaba proyectos de construcción y ampliación de sus fábricas. Se interesó en obtener el mejor rendimiento que pudiera alcanzarse en sus proyectos, empleando los más recientes sistemas administrativos y obviando las dificultades que presentaba el diagrama tradicional de *Gantt*.

Se buscó la cooperación de la *Remington Rad*, y fueron *Morgan Walker* de la *Dupont*, y *James E. Kelley* de la *Remington* quienes dirigieron la investigación, con la idea de que si se suministraba información sobre la secuencia que debían seguir las siguientes actividades, y la duración de cada una de ellas, se podrían programar horarios de trabajo. Así surgieron los principios básicos del sistema CPM.

Fue creado para satisfacer la demanda de nuevos procedimientos de dirección que permitan ejercer control de proyectos de mayores dimensiones y complejidad. Aunque es contemporáneo del PERT, la diferencia entre estos, es que el método CPM, no incorpora la incertidumbre en la asignación del tiempo en sus actividades, sino que éste se puede medir a través de un rendimiento,

previamente evaluado y determinado. El método CPM, trabajó sobre proyectos cuyas actividades permitían una muy precisa apreciación de su duración, porque se habían realizado alguna vez; por ejemplo, actividades de construcción, de mantenimiento. Por esto se dice que es un método o sistema determinativo o determinístico.

Igual que el método PERT, el CPM, tiene dificultades parea realizar traslapos de tiempos, aunque es más práctico que el PERT.

Los métodos PERT y CPM, fueron ideados para complementarlos con ayuda del computador, aunque pueden manejarse en forma manual, cuando se aplican a pequeños proyectos con el propósito de ampliar el manejo a un mayor número de proyectos.

2.1.3. Método LPU

El profesor *John W. Fondhal*, de la Universidad de *Stanford*, desarrolló un tercer método denominado LPU, línea unión punto o círculo y línea de unión (*Lineal Point Union*), que difiere del CPM, en su forma de representación gráfica y en algunas convenciones para desarrollar sus cálculos. De igual forma, trabaja con rendimientos previamente determinados y no tiene

dificultades en la realización de los traslapos, pero involucra el problema de la relación de enlaces.

2.1.4. Método *Fondhal*

El método *Fondhal* es una modificación al método LPU, por eso se llama *Fondhal* modificado, pues con éste se resuelven los problemas de enlaces que tiene el método anterior. Tiene una gran ventaja ya que posee la flexibilidad necesaria que se ajusta a las condiciones del programa. En el método *Fondhal*, se agrupan en el nudo, toda la información relacionada con la red.

Para el proceso de cálculo, sigue el sistema empleado por el sistema LPU, pero teniendo presente la diferencia de relaciones entre sus enlaces, ya que el cálculo cambia en el proceso.

2.1.5. Método KMPA

El método KMPA, conocido como método de precedencias parciales, involucra igualmente que el método anterior, una relación diferente de enlaces. Es un sistema alemán, práctico y complementario de los métodos LPU y *FONDHAL*, siendo más completo que los anteriores en sus diferentes enlaces.

2.2. REPRESENTACION GRAFICA

Para realizar la representación gráfica de los diferentes métodos de ordenamiento, encontramos los siguientes diagramas:

- Diagrama de flechas
- Diagrama AEN o de precedencias.

2.2.1. Diagrama de Flechas

En el diagrama de flechas encontramos dos elementos importantes:

- Actividades
- Eventos

2.2.1.1. Actividad

Es todo aquello que hay que hacer, o acción que hay que realizar. Una actividad es una operación, tarea o trabajo, como fabricación, ensamblaje, inspección, etc. Una actividad puede referirse a una tarea a una serie de ellas y representa un tiempo transcurrido que se mide en términos laborales como

por ejemplo una semana, un día etc. Toda actividad requiere tiempo y recursos para su ejecución. Cuando la duración estimada es distinta de cero, representa un consumo de recursos expresados generalmente en términos de la mano de obra. En general, las actividades consumen tiempo, energía, recursos humanos y dependen del número de personas responsables y de lo elemental de su clasificación, las condiciones y localización del trabajo, costos, etc.

Su representación en los métodos PERT y CPM, es una flecha, y solamente una flecha por cada actividad. La flecha representativa de una actividad no es un vector y su representación puede ser en una línea recta, quebrada o curva, en una sola dirección. Su orientación es de izquierda a derecha y hacen referencia a un trabajo en proceso en el tiempo.

Figura Nr. 1



Dentro de las actividades vamos a encontrar:

- Actividades reales: Son actividades que poseen tiempo, recursos y costos mayor que cero y corresponden a la tareas de la planeación del proyecto enunciadas en su forma más simple.
- Actividades ficticias, virtuales o artificiales: Son actividades que se requieren para hacer la lógica y correcta indicación de la precedencia.

Resultan de la programación de las actividades reales a resolver el problema de dos actividades que salen del mismo nodo inicial y llegan al mismo nodo final, independizándolas y resolviendo problemas de identificación. Estas actividades no tienen ni duración, ni recursos, ni costos.

Figura Nr. 2

Actividades reales

Actividades virtuales

2.2.1.2. Eventos

Un evento, nudo o nodo, es un punto en el tiempo que representa la iniciación o terminación de una actividad. Se encuentran separados entre sí por actividades, son instantes fijos que indican la terminación de una etapa del proyecto o la iniciación de otra.

Los eventos están representados generalmente por un círculo o por una figura geométrica cualquiera. Ejemplo:

Figura Nr. 3

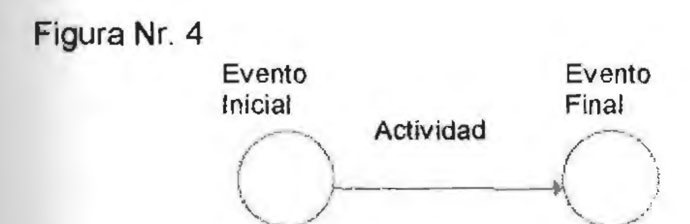
Círculo Cuadrado Rectángulo

2.2.1.3. Reglas Básicas

En toda actividad siempre vamos a encontrar un evento inicial y un evento final. Con los eventos y las actividades elaboramos una red o malla que es la indicación ordenada de una serie de actividades, las cuales deben ser ejecutadas en una cierta secuencia para alcanzar un objetivo específico.

La longitud de la flecha, no indica ni la importancia ni la duración de una actividad, sólo está determinada por la conveniencia del diagrama de red a realizar.

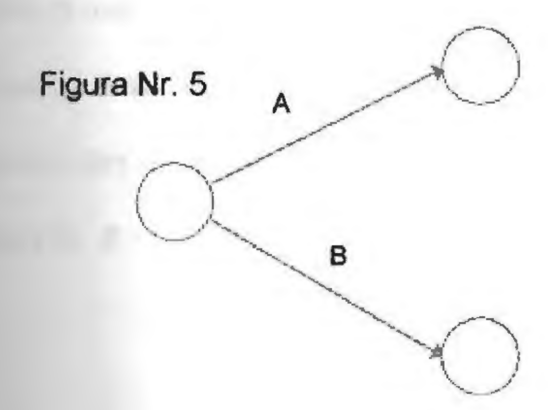
Figura Nr. 4



Para elaborar una red o diagrama por el sistema de flechas se deben cumplir ciertos requisitos o reglas básicas:

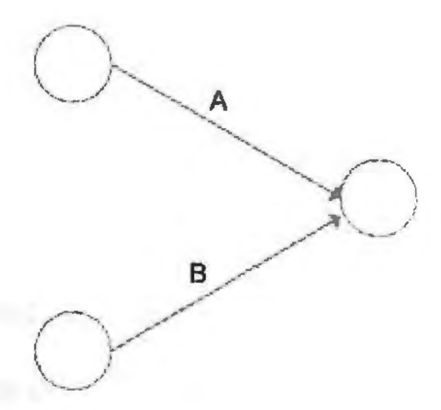
- Dos o más actividades pueden tener, el mismo evento inicial, y diferente evento final:

Figura Nr. 5



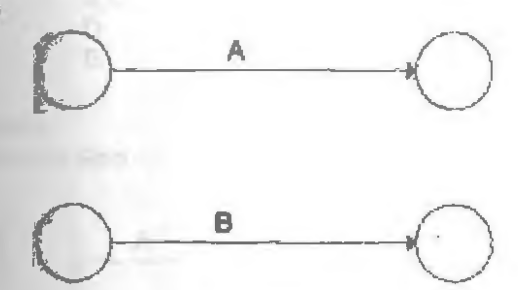
- Dos o más actividades pueden tener, diferente evento inicial y el mismo evento final.

Figura Nr. 6



- Dos o más actividades pueden tener, diferente evento inicial y diferente evento final.

Figura Nr. 7



- Dos o más actividades no pueden tener el mismo evento inicial y el mismo evento final. Para resolver esta regla, aparecen las actividades ficticias, artificiales o virtuales.

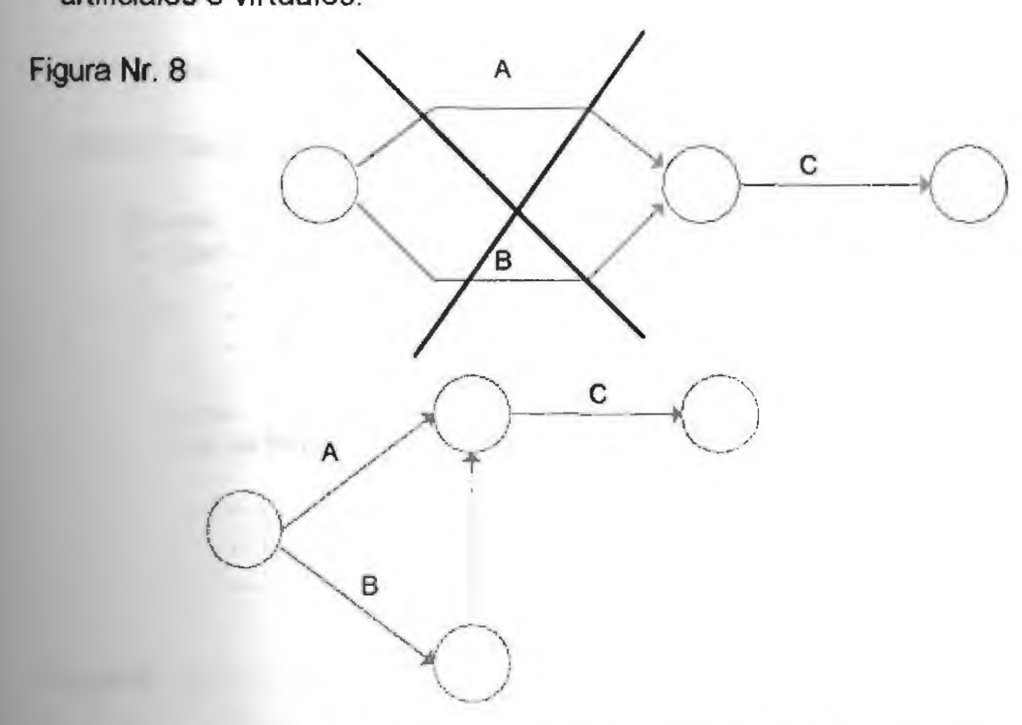


Figura Nr. 8

- Para realizar una red se debe hacer siempre hacia adelante, es decir hacia la derecha, arrancando siempre desde la izquierda. Toda red siempre debe tener un inicio y un final.

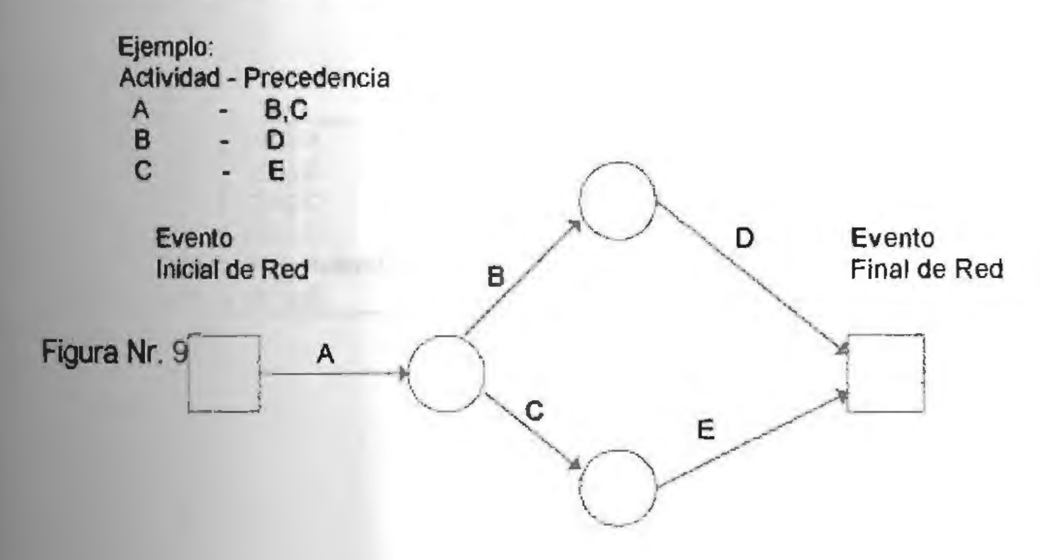


Figura Nr. 9

- Para numerar una red se inicia de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha en cada uno de los eventos, sin repetir números y procurando que en cada una de las actividades, el evento final sea un número mayor que el evento inicial, en las actividades reales. En las actividades ficticias no importa que el evento inicial tenga un número mayor que el evento final.

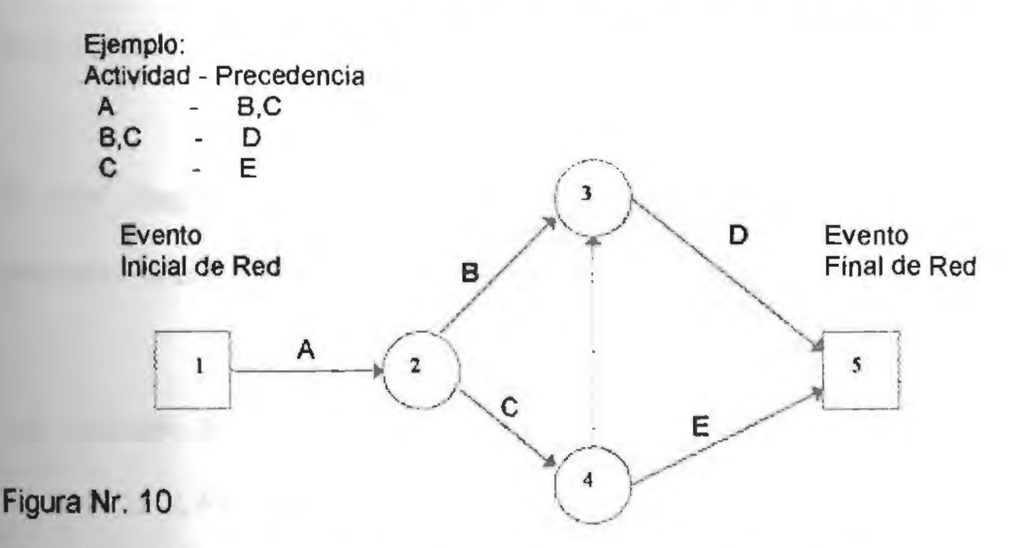


Figura Nr. 10

Para identificar la red, se toman como base los números designados a cada evento, teniendo en cuenta, que el primer número corresponde al evento inicial, y el segundo al evento final; lo anterior para cada actividad así:

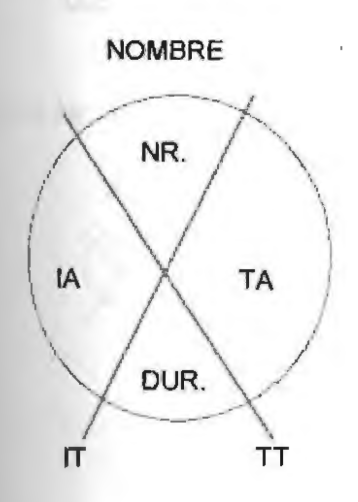
(1,2) A
(2,3) B
(2,4) C
(3,5) D
(4,3) Actividad ficticia
(4,5) E

2.2.2. Diagrama AEN o de Precedencias

El diagrama AEN, o Actividades En los Nodos, también se le conoce como diagrama de precedencias. Como su nombre lo indica, las actividades se encuentran en los nodos nudos o eventos, y se relacionan entre sí por medio de líneas de enlace o líneas de unión.

En este diagrama desaparecen las actividades ficticias, pues ya no se presentan dificultades en la identificación de las actividades.

Los métodos de ordenamiento que utilizan este tipo de diagrama son los sistemas *LPU, FONDHAL, y KMPA.*



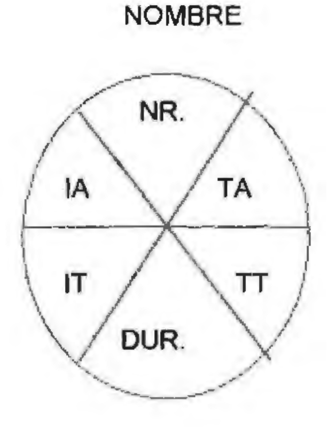
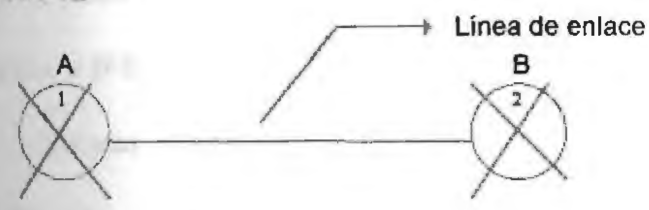


Figura Nr. 11

NR.:	NUMERO
DUR.:	DURACION
IA.:	INICIACION ADELANTADA
IT.:	INICIACION TARDIA
TA.:	TERMINACION ADELANTADA
TT.:	TERMINACION TARDIA

Igual que el diagrama anterior las actividades que en este caso se encuentran en los nodos o nudos se realizan de izquierda a derecha enumerándolas de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo; y contemplando igualmente un evento inicial de red y un evento final de red.

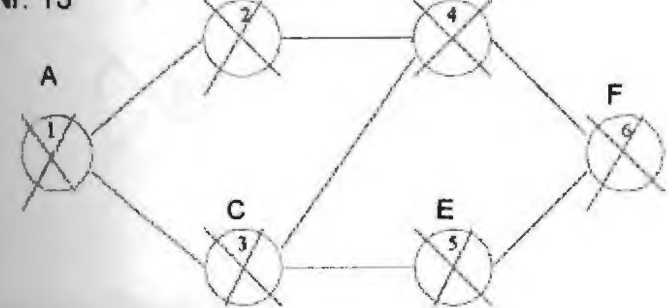
Figura Nr. 12



Ejemplo:

Actividad	-	Precedencia
A	-	B,C
B,C	-	D
C	-	F
D,E	-	E

Figura Nr. 13



2.3. ENLACES

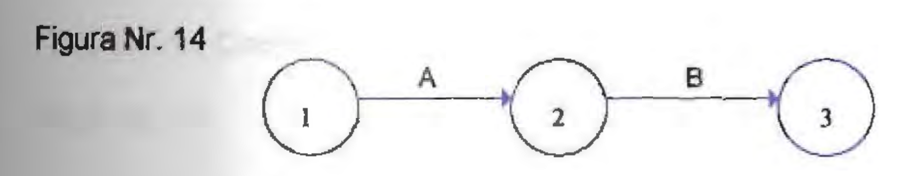
2.3.1. Métodos PERT, CPM y LPU

Los métodos PERT y CPM que se representan gráficamente por el diagrama de flechas, y el método LPU que se representa gráficamente por el diagrama de actividades en los nodos, utilizan para desarrollar sus precedencias en la red, sólo un tipo de enlace. Este tipo de enlace es:

De Terminación a Iniciación, que también se conoce como: (FC), o Fin Comienzo; y (FS), o *Finish Start*.

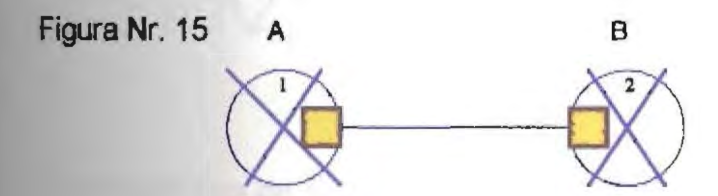
Métodos PERT y CPM

Figura Nr. 14



Método LPU

Figura Nr. 15



2.3.2. Método *Fondhal*

El método *FONDHAL*, que se representa gráficamente por el diagrama de actividades en los nodos, desarrolla para sus precedencias en la red, tres tipos de enlace:

- El primer tipo de enlace es de Terminación a Iniciación, que también se denomina: FC, o FS.

Figura Nr. 16



- El segundo tipo de enlace es de Iniciación a Iniciación, que también se denomina, Comienzo Comienzo (CC), o *Start Start* (SS).

Figura Nr. 17



- El tercer tipo de enlace es de Terminación a Terminación, que también se denomina, Fin Fin, o *Finish Finish* (FF).

Figura Nr. 18



2.3.3. Método KMPA

El método KMPA, que se representa gráficamente por el diagrama de actividades en los nodos, posee cuatro tipos de enlace para desarrollar sus precedencias en la red. Los tres primeros enlaces son iguales a los del método *FONDHAL*, y posee un cuarto tipo de enlace que es el siguiente:

- De Iniciación a Terminación, que también se denomina Comienzo Fin (CF), o *Start Finish* (SF).

Figura Nr. 19



2.4. TRAZADO DE REDES DIAGRAMA DE FLECHAS

2.4.1. Reglas para el trazado de Redes

Un diagrama de flechas tiene forma de red y requiere de tres símbolos:

- Flechas de trazo continuo que representan las tareas o actividades reales.

- Los nodos que corresponden a los acontecimientos de iniciación o terminación de actividades.
- Las actividades virtuales, ficticias o artificiales, de trazos discontinuos, que indican secuencias lógicas.

Una Red, es la indicación ordenada de una serie de actividades, las cuales deben ser ajustadas en una cierta secuencia, para alcanzar un objetivo.

Un diagrama de flechas, como representación de un proyecto, debe tener un punto de entrada y uno solo de salida, correspondiendo a los nodos de iniciación y terminación.

Las siguientes normas, pueden ser muy útiles, aun cuando no son de obligatoria aplicación, para la elaboración de las redes:

1. Tratar de evitar las flechas que se cruzan.
2. Procurar que el trazado de las flechas se haga en línea recta.
3. Procurar que la longitud de las flechas sea constante, para evitar falsas interpretaciones en la duración de las actividades.
4. Procurar que los ángulos entre las flechas sean lo mayor posible, para dejar un buen espacio y poder colocar datos internos.
5. Tratar de mantener siempre la misma tendencia en las flechas, de izquierda a derecha, dando siempre la impresión de progreso.

6. Evitar todas las flechas ficticias, innecesarias o redundantes.
7. Todas las actividades deben empezar y terminar en dos nodos diferentes; por lo tanto cada evento debe estar precedido de una actividad y seguido por otra, excepto el primero y el último, sin que lo anterior impida, que un nudo o evento, pueda tener mas de una actividad anterior o posterior.

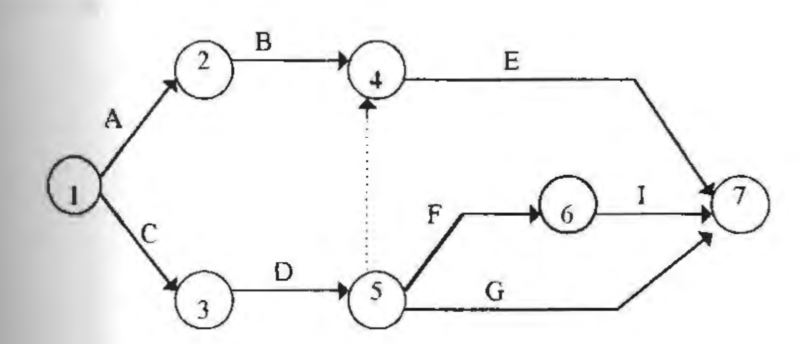
2.4.2. Ejercicios

Para desarrollar lo antes visto, vamos a tener una serie de ejemplos, que nos ayudarán a comprender, el trazado de redes por el diagrama de flechas.

2.4.2.1. Ejercicio Nr. 1

Actividad	Precede
A	B
C	D
B,D	E
D	F,G
F	I

Figura Nr. 20



Identificación:
(1,2) A
(1,3) C
(2,4) B
(3,5) D
(4,7) E
(5,4) Actividad ficticia
(5,6) F
(5,7) G
(6,7) I

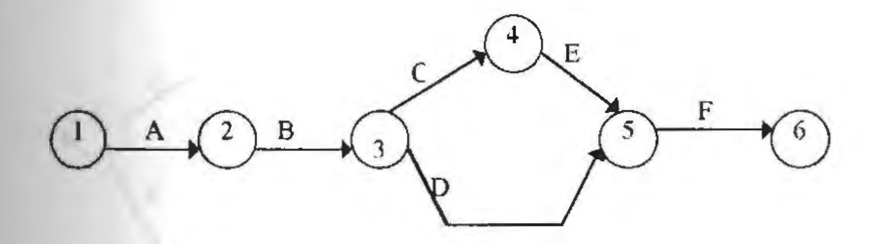
Es necesario simplificar al máximo el número de eventos y el número de actividades virtuales en la red, ya que facilita el cálculo y hace más claro el diagrama de flechas. En el ejemplo anterior, tenemos entonces:

- 7 eventos
- 1 actividad virtual.

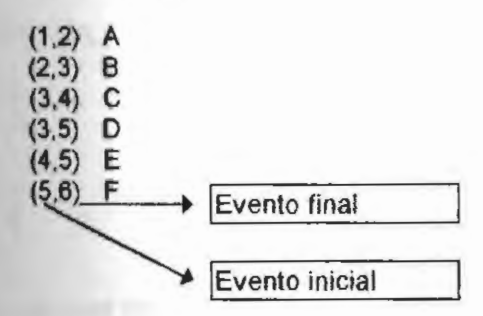
2.4.2.2. Ejercicio Nr. 2

Actividad	Precede
A	B
B	C,D
C	E
D	F

Figura Nr. 21

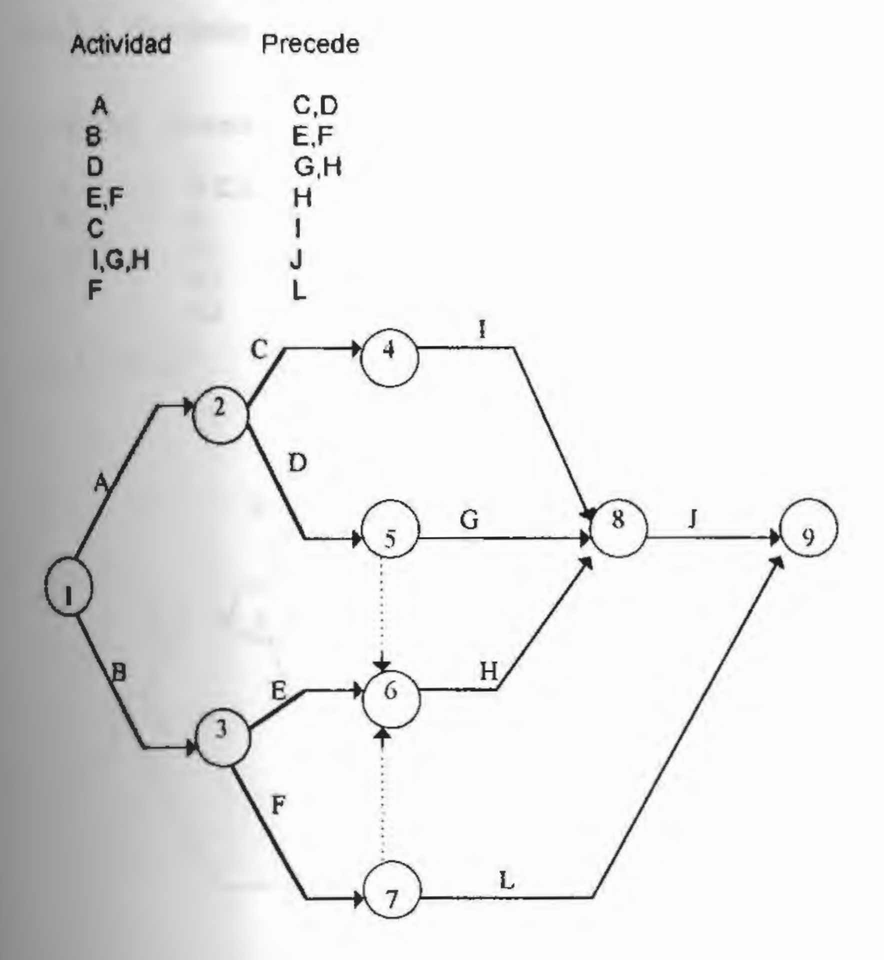


Identificación:



2.4.2.3. Ejercicio Nr. 3

Figura Nr. 22



Actividad	Precede
A	C,D
B	E,F
D	G,H
E,F	H
C	I
I,G,H	J
F	L

Identificación:

(1,2) A
(1,3) B
(2,4) C
(2,5) D
(3,6) E
(3,7) F
(4,8) I
(5,6) Actividad ficticia
(5,8) G
(6,8) H
(7,6) Actividad ficticia
(7,9) L
(8,9) J

2.4.2.4. Ejercicio Nr. 4

Actividad	Precede
A	B,C,D
B,C	E
C,D,F,	G
E	H,I
G	I,J

Figura Nr. 23

Identificación:

(1,2) A
(1,5) F
(2,3) B
(2,4) C
(2,5) D
(3,6) E
(4,3) Actividad ficticia
(4,5) Actividad ficticia
(5,8) G
(6,7) Actividad ficticia
(6,9) H
(7,9) I
(8,7) Actividad ficticia
(8,9) J

2.5. TIEMPOS EN LA RED

La asignación de tiempos para cada una de las actividades que componen una red o malla en un determinado proyecto, es responsabilidad de la persona o grupo de personas, que determinaron la actividad.

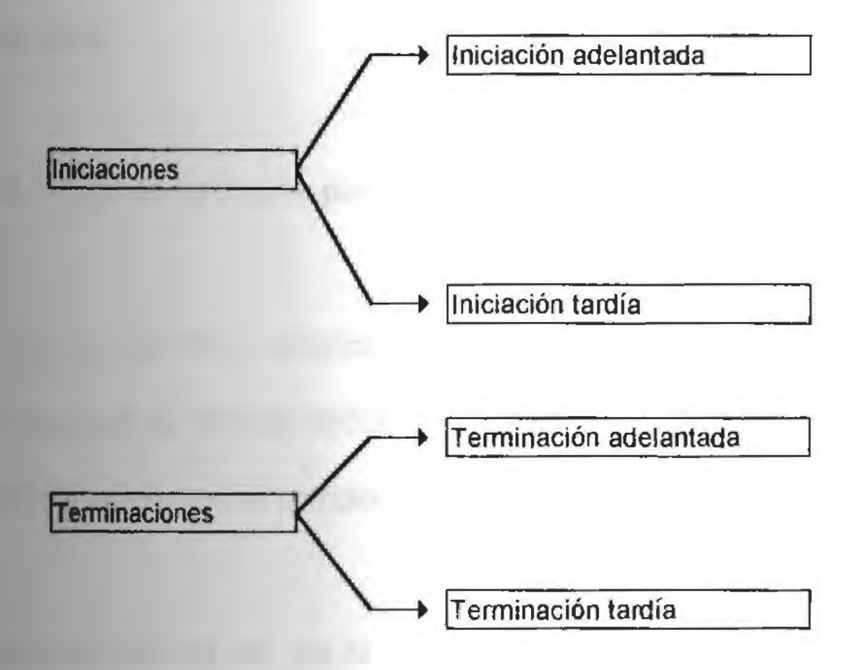
Cada proyecto, para su ejecución, requiere entrada de recursos tales como:

- mano de obra
- materiales
- equipo
- tiempo y
- financieros.

También se necesita la tecnología para poder desarrollar la actividad y la experiencia en labores relativas a la misma.

Las entradas de recursos, pueden hacerse, en bases de jornada completa o parcial durante períodos de tiempo especificados, o intermitentemente durante un período de tiempo dado, por ejemplo, tal como se necesite, pero con una entrada mínima específica durante el proyecto.

En toda red, vamos a encontrar los siguientes parámetros, para calcular una red o malla:



Iniciación adelantada: Es la iniciación normal de la actividad o tarea a realizar, se le llama adelantada o más temprana.

Iniciación tardía: Es el plazo mayor que puede demorarse una actividad para iniciar, se le llama tardía o más tarde.

Terminación adelantada: es la terminación normal de la actividad, dependiendo de su duración. Se le llama adelantada o más temprana.

Terminación tardía: es el plazo máximo , dependiendo de su duración en que se puede demorar una actividad, para realizar su tarea. Se le llama tardía o más tarde.

2.5.1. Cálculo de Redes por el Método CPM.

Como se mencionó anteriormente, el método CPM, utiliza el diagrama de flechas para su representación gráfica, y trabaja con rendimientos previamente determinados, para el cálculo de tiempos y demás recursos.

Para calcular una red por el sistema CPM, luego de elaborada dicha red, se presentan los siguientes pasos:

1. Cálculo de iniciación adelantada.
2. Cálculo de terminación tardía.
3. Determinación de la ruta crítica.

2.5.1.1. Iniciación Adelantada

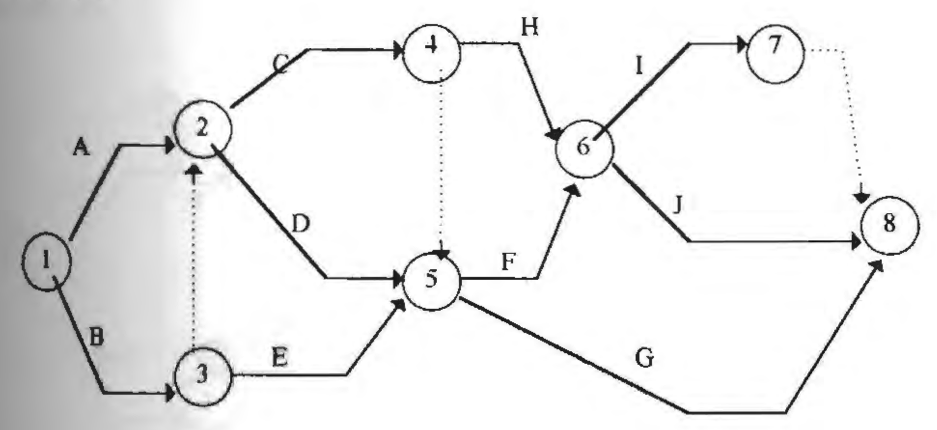
Lo primero que se calcula en una red, es la iniciación adelantada. Se parte del primer evento, y de la iniciación cero (0), o uno (1), y se procede así:

de izquierda a derecha, sumando, y escogiendo el mayor tiempo en el nudo o evento, para escoger la iniciación, de la actividad sucesora. Veamos un ejemplo:

El primer paso es elaborar la red:

Actividad	Precede
A,B	C,D
B	E
D,E	F,G
C,D,E	H
F,H	I,J

Figura Nr. 24

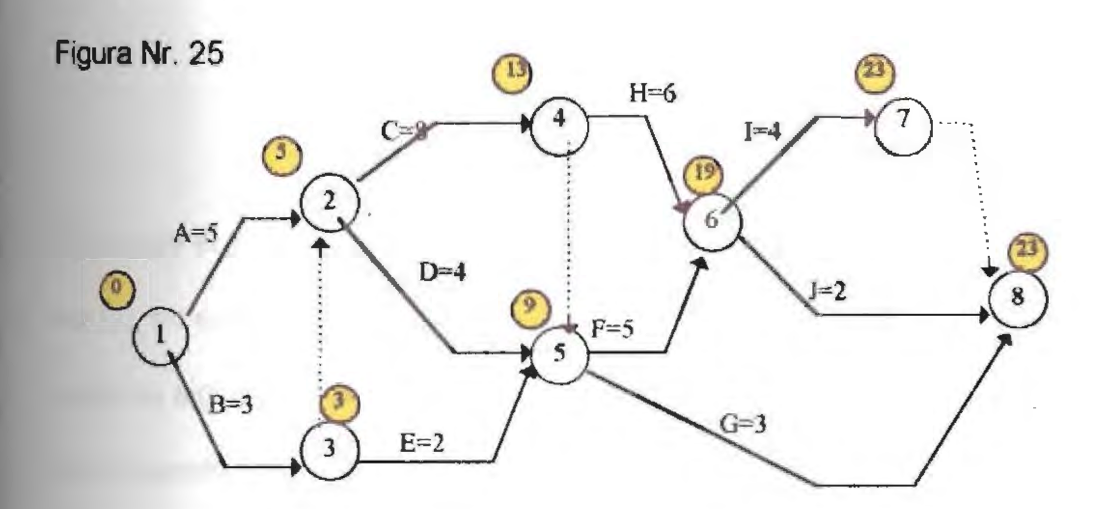


Identificación:
(1,2) A
(1,3) B
(2,4) C
(2,5) D
(3,2) Actividad ficticia
(3,5) E
(4,5) Actividad ficticia
(4,6) H
(5,6) F
(5,8) G
(6,7) I
(6,8) J
(7,8) Actividad ficticia

El segundo paso es determinar tiempos y calcular la iniciación adelantada:

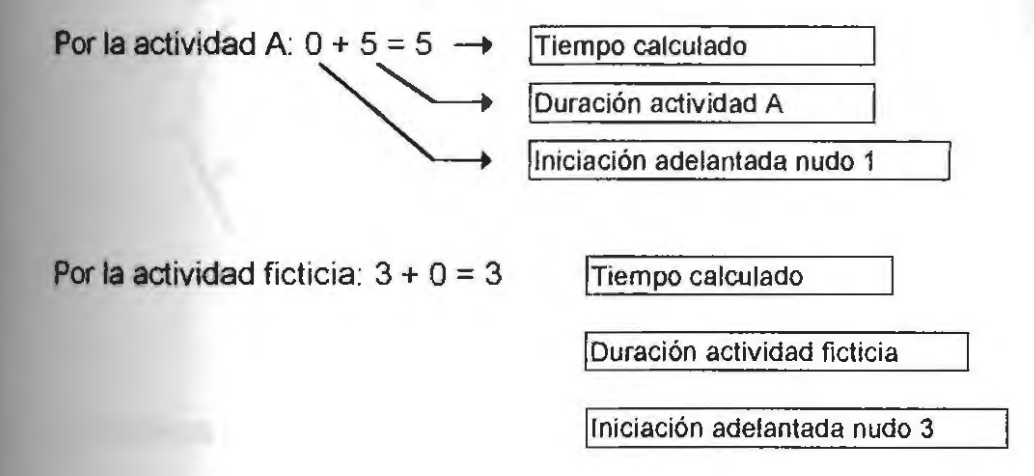
Actividad		Tiempo
A	=	5
B	=	3
C	=	8
D	=	4
E	=	4
F	=	5
G	=	3
H	=	6
I	=	4
J	=	2

Figura Nr. 25



Se empieza por el nudo uno(1), con valor cero(0), luego pasamos al nudo tres(3), que está llegando solamente una actividad que se llama B, y tiene una duración de tres (3), entonces tenemos: 0 (Iniciación adelantada en el nudo 1) + 3 (duración actividad B) = 3, valor que se coloca en la iniciación adelantada del nudo tres(3). Luego pasamos al nudo dos (2), a este nudo están llegando dos actividades, una que se llama A y con una duración de cinco (5), y otra actividad ficticia, que no tiene duración pero que incide en el cálculo de la red,

y tiene origen en el nudo (3), de ahí, que calculáramos primero el nudo tres(3) y luego el nudo dos(2). Entonces tenemos:



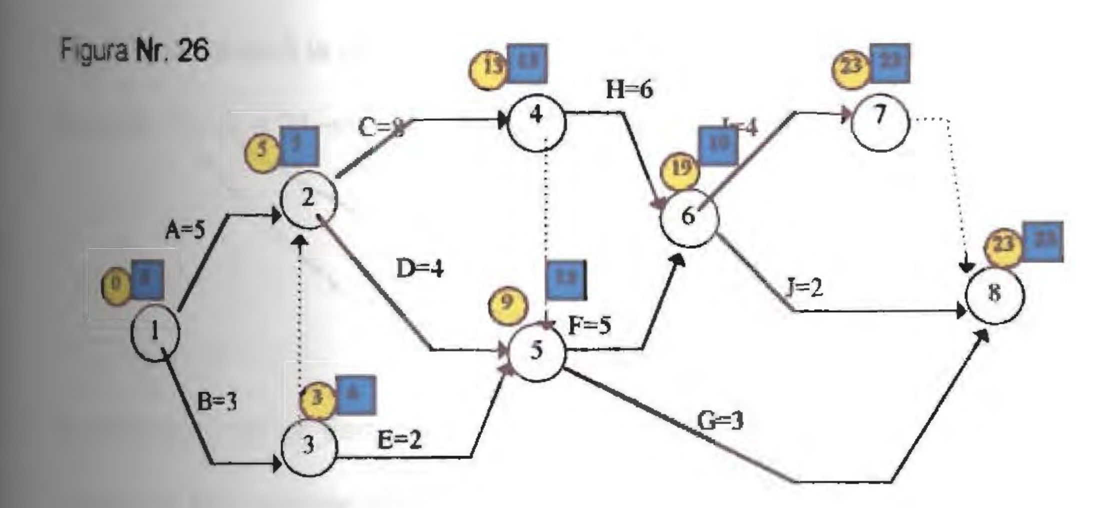
Se escoge el mayor tiempo para colocar como iniciación adelantada en el nudo dos (2), en este caso es cinco (5).

Luego se sigue este procedimiento y lo hacemos nudo por nudo, o lo que es lo mismo evento por evento; hasta llegar al nudo o evento final de la red.

2.5.1.2. Terminación Tardía

El segundo punto a calcular en la red o malla, es la terminación tardía; se parte de la última iniciación de la actividad final del proyecto, y se procede así: de derecha a izquierda, restando, y escogiendo el menor tiempo en el nudo o evento.

Figura Nr. 26



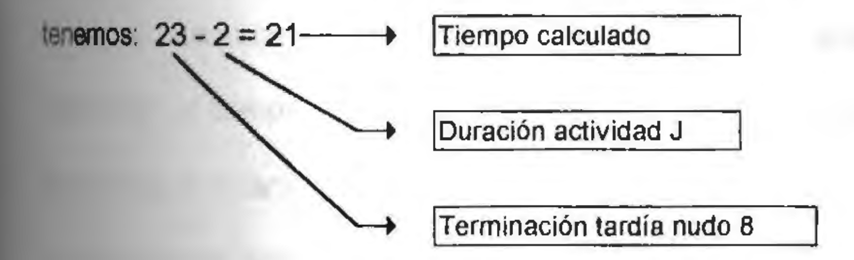
Se empieza en el último nudo, en este ejemplo, es el nudo ocho (8); se toma para empezar el cálculo, el valor de la iniciación adelantada de este último nudo, que es de veintitrés (23), este es el valor de la terminación tardía en este mismo nudo. Pasamos luego al nudo número siete (7), del que está saliendo sólo una actividad, y ésta es virtual o ficticia, con duración igual a cero (0), entonces tenemos que: 23 - 0 = 23, valor de la terminación tardía en el nudo veintidós (22).

Luego calculamos el nudo seis (6), del cual salen dos actividades:

Por un lado está la actividad I, con una duración igual a cuatro (4) por lo que tenemos: 23 - 4 = 19.



Por el otro lado está la actividad J, con una duración igual a dos (2), por lo que tenemos:



Se escoge el menor tiempo, para colocar como terminación tardía del nudo seis (6), en este ejemplo el valor es diecinueve (19).

Se sigue este procedimiento para los demás nudos, realizándolo nudo por nudo, y teniendo cuidado en el cálculo donde se involucren actividades ficticias, que aunque no tienen duración, influyen en el cálculo de la red; Se debe tener muy presente en las actividades ficticias, el origen y el final de la actividad, para ver como se va pasando nudo a nudo.

2.5.1.3. Ruta Critica

En el conjunto de nudos unidos por flechas, que empieza en el evento inicial y termina en el evento final, encontramos las rutas del diagrama. La duración de una ruta, es el tiempo total que se emplea en recorrerla, que equivale al total de la suma de los tiempos individuales de las actividades que unen los eventos a lo largo de la ruta.

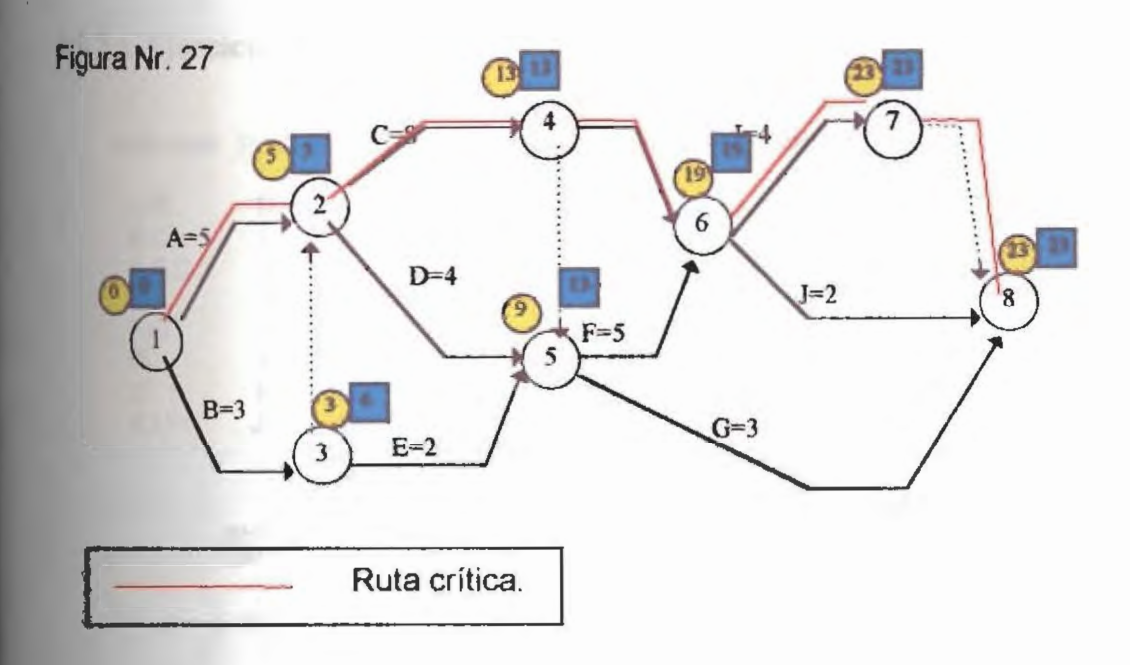
Cuando se tenga un proyecto completamente planeado y programado, se conozcan sus actividades, su duración y sus predecesoras, se puede determinar el tiempo mínimo requerido para la terminación de un proyecto. Para lograr lo anterior, se debe encontrar la ruta más larga que corresponde a la secuencia de actividades cuya duración total es la máxima a lo largo de la red.

La ruta crítica o camino crítico, está determinada en la red por el camino más largo entre la actividad inicial y la actividad final del proyecto. Paradójicamente coincide con el tiempo mínimo para terminar un proyecto. Para determinarla, se parte desde el evento o nudo inicial, en donde coincidan en un mismo nodo la iniciación adelantada y la terminación tardía y teniendo en cuenta la duración de la actividad.

Todas las actividades que conforman la ruta crítica, son todas aquellas cuya holgura total o fluctuación total, sea igual a cero (0).

Veamos entonces con base en el ejemplo anterior, en donde calculamos las iniciaciones adelantadas y las terminaciones adelantadas, la determinación de la ruta crítica.

Figura Nr. 27



2.5.2. Ejercicios

A continuación, tendremos algunos ejemplos para calcular una red por el sistema CPM. Debemos entonces seguir los siguientes pasos:

1. Elaborar red por el sistema CPM.

2. Identificar la actividades de la red.

3. Asignar tiempos a las actividades.

4. Calcular iniciaciones adelantadas.

5. Calcular terminaciones tardías.

6. Determinar la ruta crítica.

2.5.2.1. Ejercicio Nr. 5

Actividad	Precede
A,B,	D
B,C	E
A,B,C	G
E	F
F,G	I
G	H
D	K
K,I,H	J

Actividad		Tiempo
A	=	5
B	=	2
C	=	3
D	=	1
E	=	4
F	=	6
G	=	2
H	=	3
I	=	2
J	=	4
K	=	2

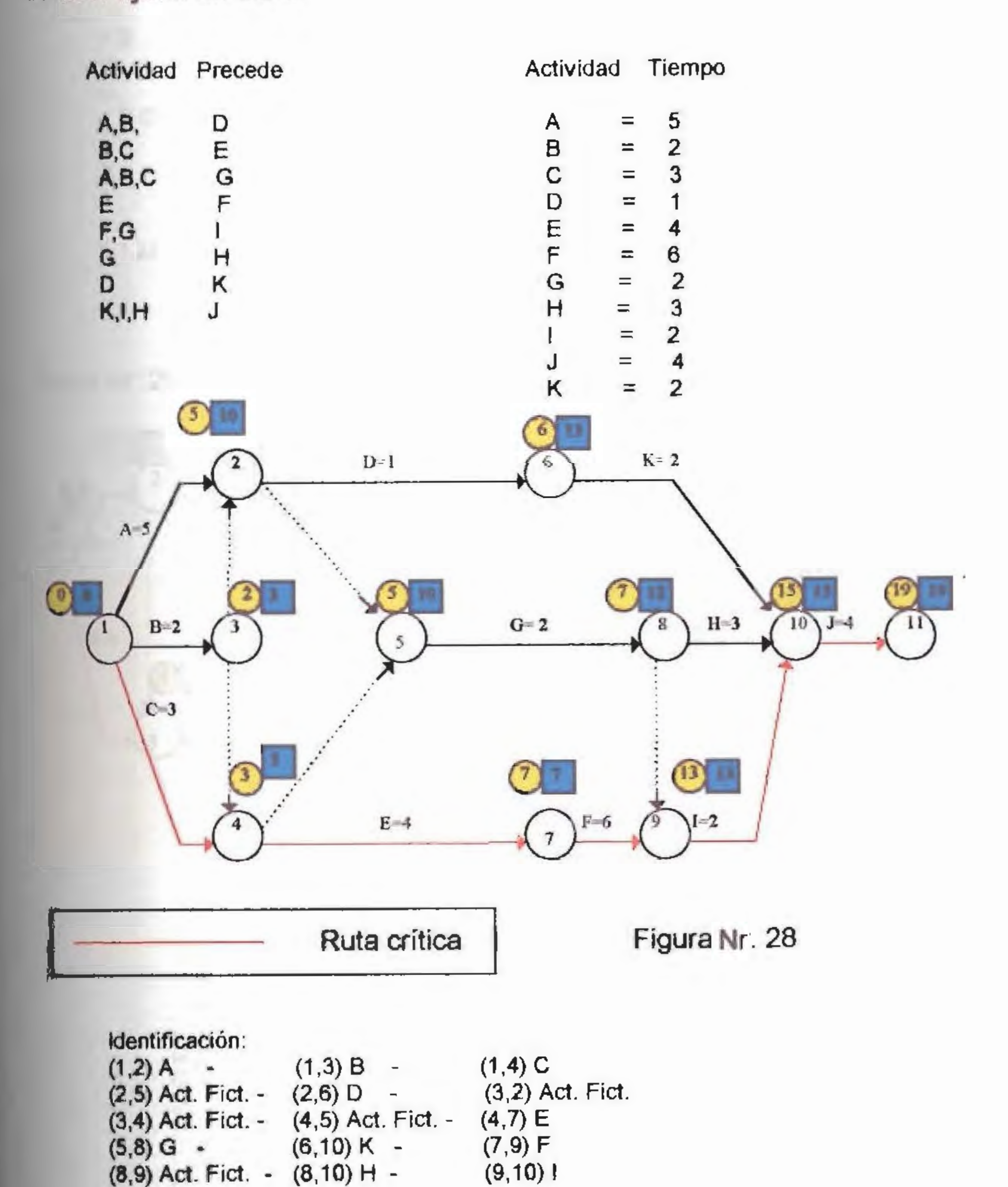


Figura Nr. 28

Identificación:

(1,2) A - (1,3) B - (1,4) C
(2,5) Act. Fict. - (2,6) D - (3,2) Act. Fict.
(3,4) Act. Fict. - (4,5) Act. Fict. - (4,7) E
(5,8) G - (6,10) K - (7,9) F
(8,9) Act. Fict. - (8,10) H - (9,10) I
(10,11) J

2.5.2.2 Ejercicio Nr. 6

Actividad		Precede
A,B	-	C
C	-	D
D	-	E,F,G
E,F,G	-	H
E	-	I
G	-	J
A	-	K
K	-	L
H,I,J,L	-	M,N,O

Actividad		Tiempo
A	=	1
B	=	4
C	=	2
D	=	5
E	=	6
F	=	7
G	=	4
H	=	3
I	=	2
J	=	1
K	=	15
L	=	3
M	=	2
N	=	1
O	=	2

Figura Nr. 29

Ruta crítica

Identificación:

(1,2) A - (1,3) B - (2,3) Act. Fict.
(2,4) K - (3,5) C - (4,10) L
(5,6) D - (6,7) E - (6,8) F
(6,9) G - (7,8) Act. Fict.- (7,9) I
(8,10) H - (9,8) Act. Fict.- (9,10) J
(10,11) M - (10,12) N - (10,13) O
(11,12) Act. Fict.- (13,12) Act. Fict.

2.5.3. Cuadro Resumen de Cálculo.

Es un cuadro de cálculo en donde podemos, como su nombre lo indica, calcular una serie de parámetros que nos van a servir para la elaboración posterior del diagrama de barras; en resumen, de todo lo que se determina en la red, como:

- La identificación de las actividades: que está dada por un evento inicial y un evento final.
- La duración de las actividades: calculada luego de tener los rendimientos previamente asignados y de la misma forma las cantidades de obra.
- La iniciación adelantada de cada actividad, calculada en la red: la iniciación adelantada de cada actividad, se encuentra en el evento inicial de ésta.
- La terminación tardía de cada actividad, calculada en la red: la terminación tardía de cada actividad, se encuentra en el evento final de ésta.

Dentro del cuadro resumen de cálculo, procederemos a encontrar los siguientes puntos:

- Terminación adelantada: es decir la terminación normal de la actividad. Tenemos que: $I + D = T$ en donde I = iniciación, D = duración y T = terminación. Para hallar entonces la terminación adelantada, teniendo en cuenta que ya conocemos la iniciación adelantada y la duración, tenemos

entonces: Iniciación adelantada más la duración es igual a la terminación adelantada. IA + D = TA

- Iniciación tardía: es decir el plazo máximo que puede demorarse una actividad en comenzar. Sabiendo que iniciación más duración es igual a la terminación, I + D = T , tenemos entonces que para calcular la iniciación tardía, será igual a la terminación tardía, que ya calculamos en la red menos la duración. TT - D = IT

Luego de haber calculado ya la iniciación tardía y la terminación adelantada, procedemos a calcular las holguras o fluctuaciones. Vamos a encontrar dentro del cálculo, tres tipos de fluctuaciones, éstas son:

- Holgura o fluctuación total.
- Holgura o fluctuación libre.
- Holgura o fluctuación de interferencia.

2.5.3.1 Holgura Total

Holgura o fluctuación total: está dada por la diferencia que existe entre la iniciación adelantada y la iniciación tardía de una actividad, o la diferencia entre la terminación adelantada y la terminación tardía, de la misma actividad. Esta diferencia debe ser igual tanto en las iniciaciones, como en las

terminaciones, si no es así, se tiene entonces un error en el cálculo. Todas las actividades que poseen ruta crítica, no tienen holgura.

La holgura total, nos indica cual es el máximo número de días que puede demorarse la iniciación de una actividad, contados a partir de su iniciación adelantada, sin que se modifique la fecha de terminación total del proyecto. De la misma forma nos indica, cuantos días puede demorarse la terminación de una actividad, contados a partir de la terminación adelantada, sin que afecte igualmente la terminación total del proyecto. Tenemos entonces que para calcular la holgura:

HT = IT - IA.

HT = TT - TA

2.5.3.2. Holgura Libre

Holgura o fluctuación libre: Se emplea para la programación rápida en la obra. La holgura libre de una actividad, está dada por la diferencia entre su terminación adelantada, y la iniciación de las actividades siguientes. Ejemplo:

HL = TA (actividad) - IA (actividad siguiente)

Se puede encontrar la holgura libre de una actividad, con la diferencia entre su iniciación adelantada de la actividad, más la duración de la misma, con respecto a la iniciación adelantada de la actividad siguiente con la que tiene conexión. Ejemplo:

HL = IA (Actividad) + D (actividad) - IA (actividad sucesora)

La holgura libre tiene el efecto de que traslada hacia el futuro todas las holguras, al hacer que las actividades se inicien lo antes posible, dando un mayor margen de seguridad y poderlas usar cuando se presenten problemas.

2.5.3.3. Holgura de Interferencia

Holgura o fluctuación de interferencia: Está dada por la diferencia que existe entre la holgura total y la holgura libre.

Esta holgura nos muestra que la terminación de una actividad no cambia la duración del proyecto, cuando se utiliza, pero decrece el valor de las holguras siguientes. Para hallas entonces la holgura de interferencia, tenemos:

HI = HT - HL

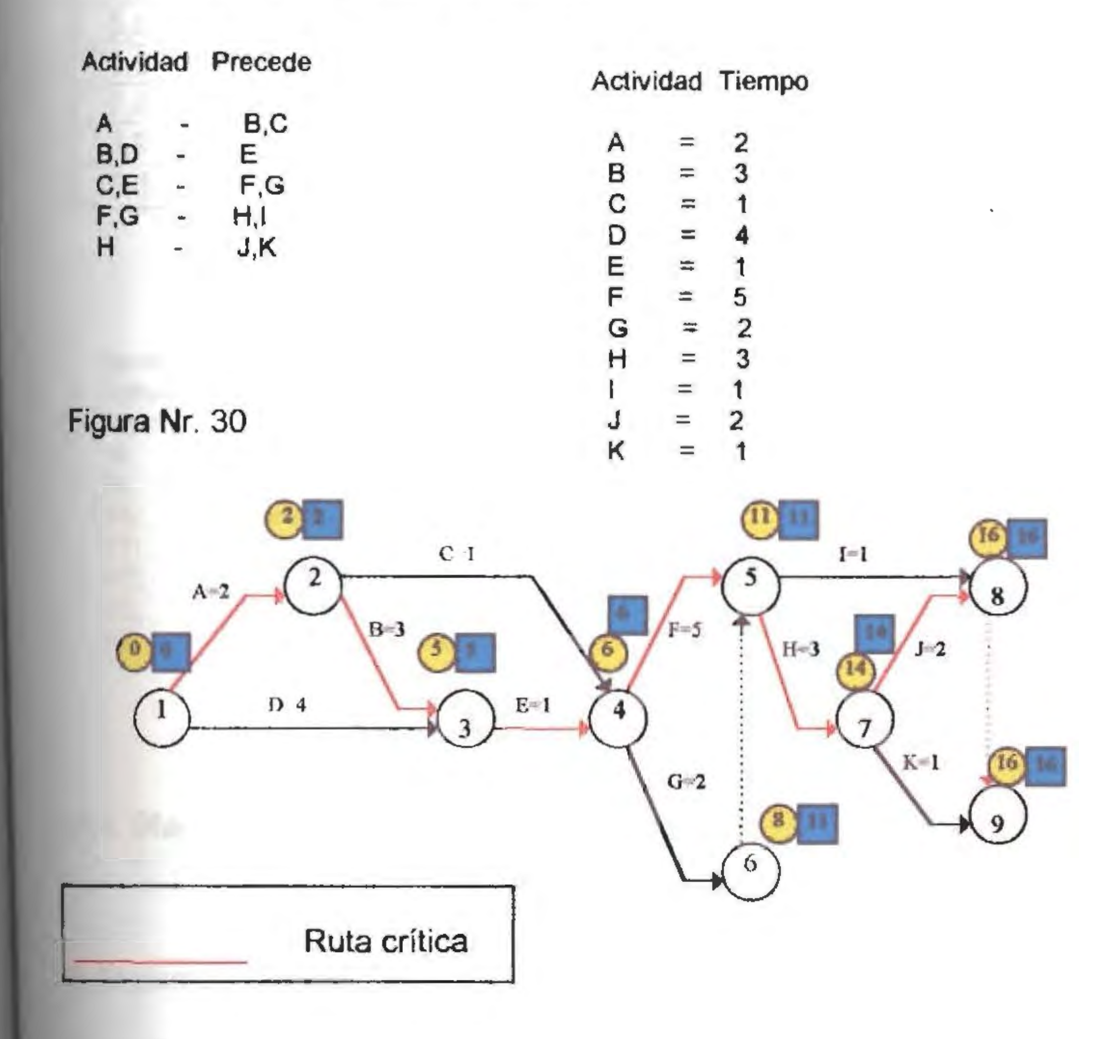
2.5.3.4. Ejercicio Nr. 7

1. Elaborar red por el sistema CPM.
2. Calcular la red.
3. Determinar la ruta crítica.
4. Elaborar cuadro resumen de cálculo.

Actividad		Precede
A	-	B,C
B,D	-	E
C,E	-	F,G
F,G	-	H,I
H	-	J,K

Actividad		Tiempo
A	=	2
B	=	3
C	=	1
D	=	4
E	=	1
F	=	5
G	=	2
H	=	3
I	=	1
J	=	2
K	=	1

Figura Nr. 30



Cuadro resumen de cálculo

Tabla Nr. 4

Identif.	Actividad	Dur.	IA	IT	TA	TT	HT	HL	HI
1,2	A	2	0	0	2	2	0	0	0
1,3	D	4	0	1	4	5	1	1	0
2,3	B	3	2	2	5	5	0	0	0
2,4	C	1	2	5	3	6	3	3	0
3,4	E	1	5	5	6	6	0	0	0
4,5	F	5	6	6	11	11	0	0	0
4,6	G	2	6	9	8	11	3	3	0
5,7	H	3	11	11	14	14	0	0	0
5,8	I	1	11	15	12	16	4	4	0
6,5	Act. Ficticia	-	8	11	8	11	3	3	0
7,8	J	2	14	14	16	16	0	0	0
7,9	K	1	14	15	15	16	1	1	0
9,8	Act. Ficticia	-	16	16	16	16	0	0	0

Identif.: Identificación de la actividad.
Actividad: Nombre de la actividad
Dur.: Duración de la actividad
IA: Iniciación adelantada
IT: Iniciación tardía
TA: Terminación adelantada
TT: Terminación tardía
HT: Holgura o fluctuación total
HL: Holgura o fluctuación libre
HI: Holgura de interferencia

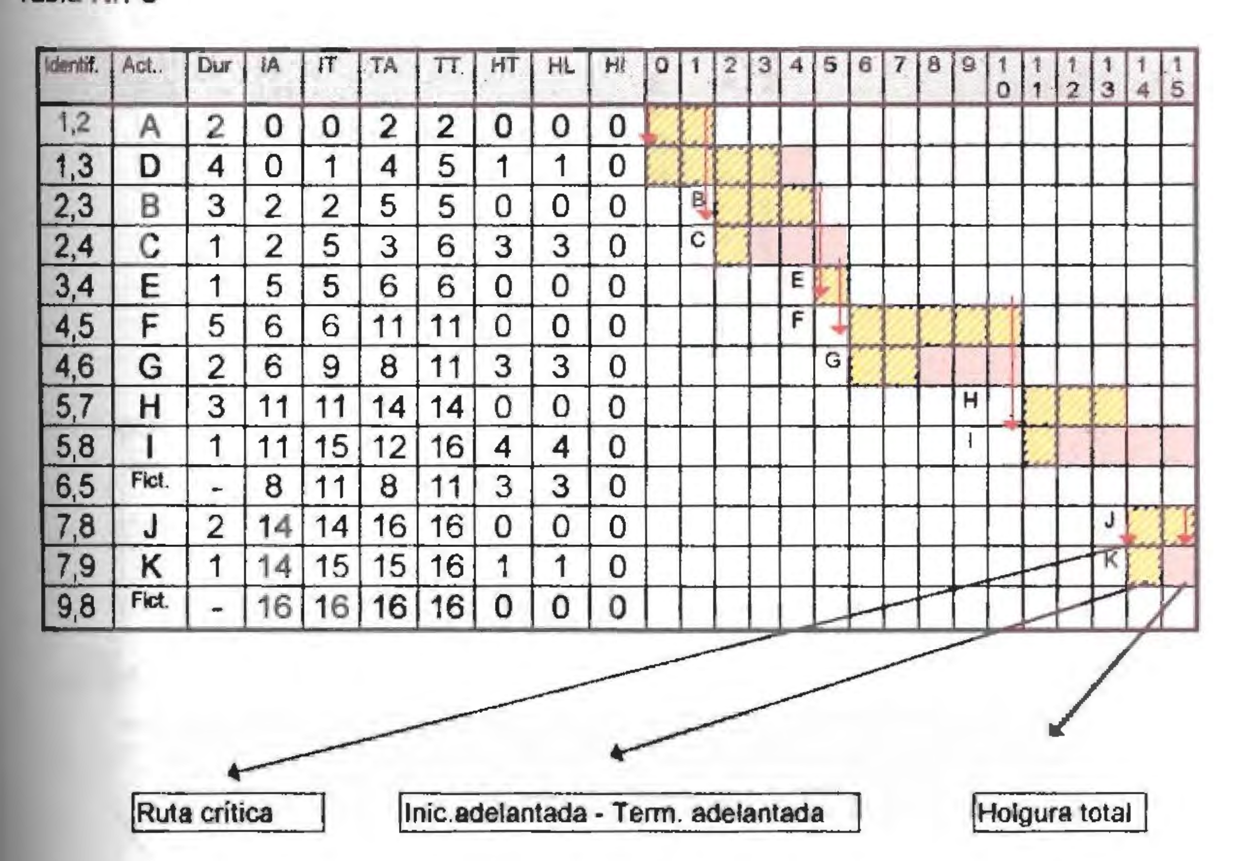
2.5.4. Diagrama de Barras

El diagrama de barras o gráfico de *Gantt*, se toma como base del cuadro de cálculo y de la red elaborada, en este caso por el método CPM. Para realizar el gráfico de *Gantt*, procederemos con los siguientes pasos:

- Lo primero que llevaremos a la gráfica, será entonces la iniciación adelantada más la duración, que nos da la terminación adelantada. Podremos saber así cuando inicia una actividad y cuanta es su duración.
- El segundo paso es llevar al gráfico la holgura de cada actividad. Para poder determinar cuanto plazo tiene cada actividad para comenzar o finalizar.

Luego se determina la ruta crítica, calculada en la red, y comprobando del cuadro de cálculo, que por donde pasa la ruta crítica, la holgura total es cero.

Tabla Nr. 5



Identif.	Act..	Dur	IA	IT	TA	TT	HT	HL	HI
1,2	A	2	0	0	2	2	0	0	0
1,3	D	4	0	1	4	5	1	1	0
2,3	B	3	2	2	5	5	0	0	0
2,4	C	1	2	5	3	6	3	3	0
3,4	E	1	5	5	6	6	0	0	0
4,5	F	5	6	6	11	11	0	0	0
4,6	G	2	6	9	8	11	3	3	0
5,7	H	3	11	11	14	14	0	0	0
5,8	I	1	11	15	12	16	4	4	0
6,5	Fict.	-	8	11	8	11	3	3	0
7,8	J	2	14	14	16	16	0	0	0
7,9	K	1	14	15	15	16	1	1	0
9,8	Fict.	-	16	16	16	16	0	0	0

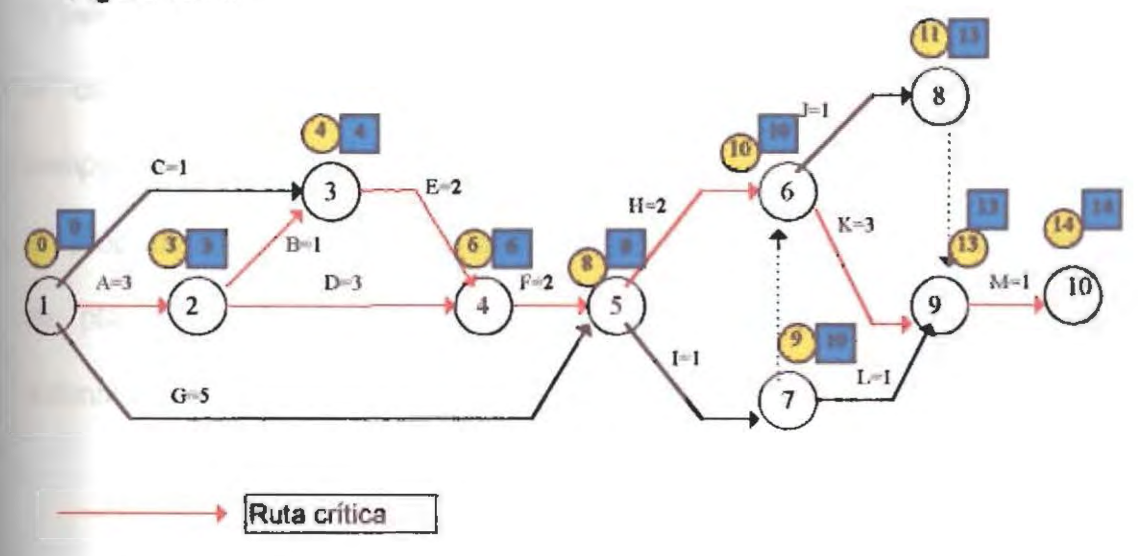
2.5.4.1. Ejercicio Nr. 8

1. Elaborar red por el método CPM y enumerarla.
2. Calcular la red.
3. Determinar la ruta crítica.
4. Realizar cuadro resumen de cálculo
5. Barras de Gantt.

Actividad		Precede
A	-	B,D
B,C	-	E
E,D	-	F
F,G	-	I,H
I,H	-	J,K
I	-	L
J,K,L	-	M

Actividad		Tiempo
A	=	3
B	=	1
C	=	1
D	=	3
E	=	2
F	=	2
G	=	5
H	=	2
I	=	1
J	=	1
K	=	3
L	=	1
M	=	1

Figura Nr. 31



Cuadro Resumen de Cálculo

Tabla Nr. 6

Ident.	Act.	Dur.	IA	IT	TA	TT	HT	HL	HI	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1,2	A	3	0	0	3	3	0	0	0														
1,3	C	1	0	3	1	4	3	3	0														
1,5	G	5	0	3	5	8	3	3	0														
2,3	B	1	3	3	4	4	0	0	0														
2,4	D	3	3	3	6	6	0	0	0														
3,4	E	2	4	4	6	6	0	0	0														
4,5	F	2	6	6	8	8	0	0	0														
5,6	H	2	8	8	10	10	0	0	0														
5,7	I	1	8	9	9	10	1	0	1														
6,8	J	1	10	12	11	13	2	0	2														
6,9	K	3	10	10	13	13	0	0	0														
7,6	Fict.	-	9	10	9	10	1	1	0														
7,9	L	1	9	12	10	13	3	3	0														
8,9	Fict.	-	11	13	11	13	2	2	0														
9,10	M	1	13	13	14	14	0	0	0														

2.6. METODO PERT

El método PERT, (Técnica de evaluación y revisión de proyectos), involucra el cálculo de tiempos por probabilidad. Según el proyecto, el cálculo de tiempo se divide:

- En probabilístico, en donde se parte de una probabilidad, que es un estudio de planeación teórico, y se escoge una premisa probable con tres estimativos de tiempos, en los cuales posiblemente pueda terminarse la

actividad en el supuesto que ésta va a desarrollarse en condiciones normales. Estos tres estimativos de tiempo son:

1. Optimista
2. Pesimista
3. Más probable.

Tiempo optimista: (To): Corresponde al menor tiempo posible en que se supone podría realizarse una actividad, si se contara con buena suerte excepcional, y todo marchara perfectamente desde el principio.

Tiempo pesimista: (Tp): Corresponde al tiempo máximo que duraría la actividad, contando con la mala suerte en su realización. Se tiene en cuenta en esta estimación, la posibilidad de que se retrase la iniciación o se dificulte su desarrollo por causas pertinentes y muy factibles, pero no se tendrá en cuenta sucesos catastróficos, tales como huelgas, incendios, derrumbes, etc.

Tiempo mas probable: (Tm): Corresponde al tiempo que se consumiría, muy seguramente en la realización de la actividad. Es tal que si la actividad se repitiera independientemente muchas veces, este tiempo de duración sería el que ocurriría con más frecuencia. Sería entonces en caso de tener un solo estimativo, el tiempo dado.

Determinados estos tiempos, se procederá a aplicar la fórmula del tiempo esperado (promedio). El valor que resulte, será finalmente el que se aplicará en la programación a cada actividad. El tiempo promedio es el valor más representativo, no el más frecuente de todas las estimaciones posibles.

La duración estimada o tiempo esperado (Te), con la cual se va a trabajar la red, no es un modo alguno de tiempo exacto. Muy seguramente la actividad va a durar más o menos que ¨Te¨. Aquí aparece entonces de nuevo el valor de incertidumbre.

Con los estimativos de tiempos, To, Tp y Tm, podemos obtener estadísticamente el ¨Te¨ Tiempo esperado aplicando la siguiente fórmula:

$$Te = \frac{To + 4\,Tm + Tp}{6}$$

En donde:

To = tiempo optimista

Tp = tiempo pesimista

Tm = tiempo más probable

Te = tiempo esperado.

De acuerdo a los principios de distribución de frecuencias puede asegurarse que tendremos alta probabilidad que la actividad termine dentro del intervalo, de ahí la conveniencia de calcular la variación para cada actividad.

La variación es un término que describe la incertidumbre asociada al cálculo. Si la variación es grande, cuando el tiempo optimista y el tiempo pesimista se diferencian mucho, la incertidumbre sobre el tiempo de duración de la actividad es grande, y si la variación es pequeña, la incertidumbre también lo es.

La variación entonces la calcularemos aplicando la siguiente fórmula, el cuadrado de la desviación tipo:

$$\sqrt{} = \left(\frac{Tp - To}{6}\right)^2$$

Tiempo pesimista - tiempo optimista, dividido por seis (6), y elevado todo lo anterior al cuadrado.

Luego determinamos la varianza, que mide la dispersión de los datos, con respecto a la duración media, que es igual a la sumatoria de las variaciones, de las actividades que se encuentran en la ruta crítica.

$$\sum \text{variaciones actividades R.C.}$$

El siguiente paso es calcular la desviación típica, que es igual a la raíz cuadrada de la varianza:

$$\sqrt{t} = \sqrt{\text{Varianza}}$$

Luego hallamos la desviación normalizada que la denominaremos Z, la cual es igual al tiempo asumido (Ta), menos el tiempo calculado o tiempo esperado total de la red (Tc), divididos por la desviación típica.

$$Z = \frac{Ta - Tc}{\sqrt{t}}$$

El último paso es realizar la comprobación del ejercicio: es igual a la desviación normalizada, más la desviación típica, más el tiempo calculado de la red (Tc).

$$\text{Comprobación} = Z + \sqrt{t} + Tc$$

2.6.1. Ejercicio Nr. 9.

Un proyecto de remodelación de un almacén de artículos deportivos.

El plazo fijado para terminar el proyecto, es decir el tiempo asumido Ta= 40 días.

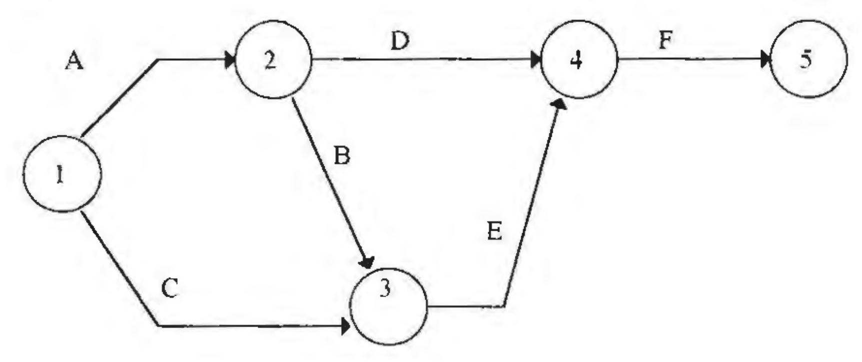
¿Qué tiempo se necesita para obtener un 99% de probabilidades de terminar en este plazo?

Actividad	To	Tm	Tp
A	6	8	10
B	3	7	15
C	20	25	38
D	5	10	11
E	4	6	10
F	1	2	3

- Elaborar red por el método PERT:

Actividad	Precede
A	B,D
B,C	E
E,D	F

Figura Nr. 32



- Calcular tiempo esperado.

$$Te = \frac{To + 4Tm + Tp}{6}$$

$$Te\ A = \frac{6 + 4(8) + 10}{6} = 8$$

$$Te\ B = \frac{3 + 4(7) + 15}{6} = 8$$

$$Te\ C = \frac{20 + 4(25) + 38}{6} = 26$$

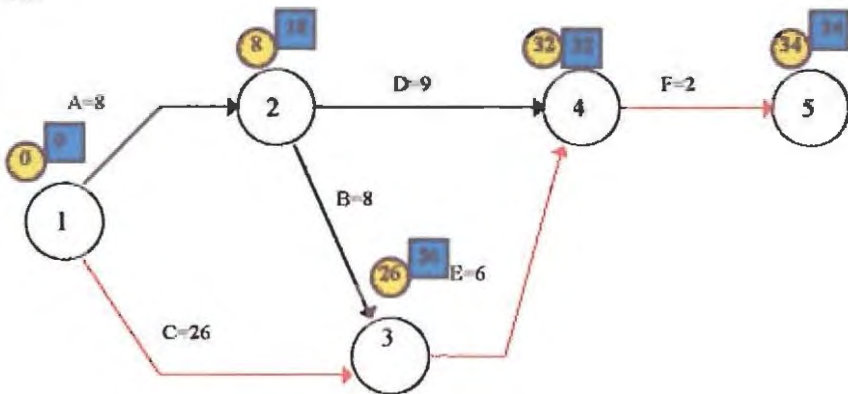
$$Te\ D = \frac{5 + 4(10) + 11}{6} = 9$$

$$Te\ E = \frac{4 + 4(6) + 10}{6} = 6$$

$$Te\ F = \frac{1 + 4(2) + 3}{6} = 2$$

- Calcular la red con los tiempos esperados para cada actividad, y determinar la ruta crítica.

Figura Nr. 33



El tiempo calculado Tc = 34 días.

- Se calcula luego la variación:

$$\sqrt{\ } = \left(\frac{Tp - To}{6}\right)^2$$

$$\text{Variación A} = \frac{(10-6)^2}{6} = 4/9 = 0.44$$

$$\text{Variación B} = \frac{(15-3)^2}{6} = 4$$

$$\text{Variación C} = \frac{(38-20)^2}{6} = 9$$

$$\text{Variación D} = \frac{(11-5)^2}{6} = 1$$

$$\text{Variación E} = \frac{(10-4)^2}{6} = 1$$

$$\text{Variación F} = \frac{(3-1)^2}{6} = 1/9 = 0.12$$

- Calculamos luego la varianza, que es igual a la sumatoria de las variaciones de las actividades que se encuentran en Ruta crítica. Las actividades que se encuentran en Ruta crítica son:
  - C, E y F.

Ruta Crítica	-	Variación
C	-	9
E	-	1
F	-	0.12
		10.12 ⟶ Varianza

- Calculamos ahora la desviación típica, que es igual a la raíz cuadrada de la Varianza.

$$\sqrt{t} = \sqrt{\text{Varianza}}$$

$$\sqrt{t} = \sqrt{10.12} = 3.2$$

- Calculamos la desviación normalizada:

$$Z = \frac{Ta - Tc}{\sqrt{t}}$$

$$Z = \frac{40 - 34}{3.2} = 1.9$$

- Se realiza la comprobación del ejercicio, para obtener la probabilidad de terminar en el plazo fijado de 40 días.

$$\text{Comprobación} = Z + \sqrt{t} + Tc$$

$$1.9 + 3.2 + 34 = 39.1 \text{ días}$$

CAPITULO III

3. DIAGRAMA A.E.N.

Como se vió antes, los métodos de ordenamiento que utilizan para su representación gráfica de actividades en los nodos o diagrama de precedencias, son el *LPU*, el *FONDHAL* y el *KMPA*.

3.1. DISEÑO DE REDES

Este sistema de diagrama AEN o de precedencias para la elaboración de redes, es más ventajoso que el diagrama de flechas, por su facilidad en la elaboración de redes , tomado desde el punto de vista práctico.

Consiste este sistema de precedencias, en indicar en el nudo, la actividad, interrelacionándose con las que le preceden, le son simultáneas o son sucesoras. La función de la línea de enlace es indicar la interrelación manifestada, y no tiene nada que ver en sí, con la actividad.

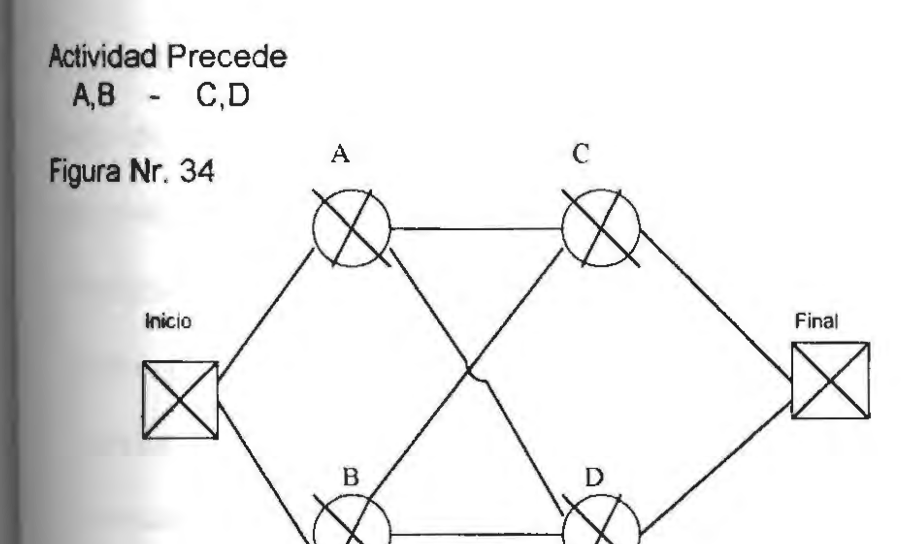
Para elaborar la red por el sistema de precedencias, partimos igualmente de un nodo inicial de red, y debe finalizar en un nodo final de proyecto o red, y

siguiendo de igual forma de izquierda a derecha; puede igualmente una actividad ser nodo inicial de red, y también una actividad, del nodo final de red.

Veamos un ejemplo:

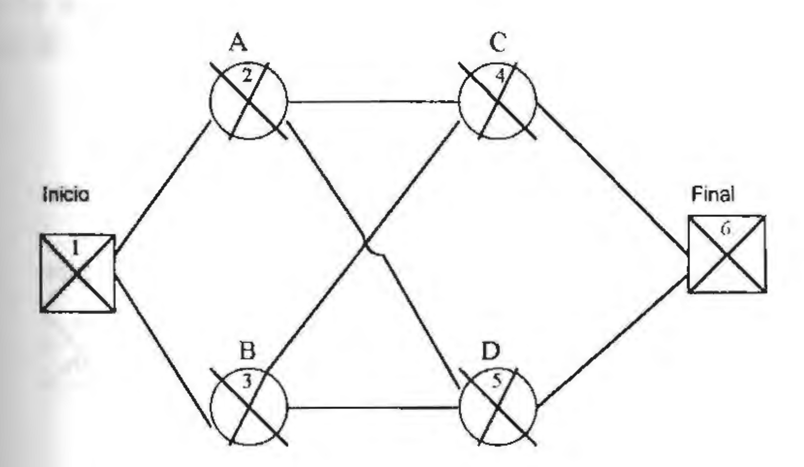
Actividad Precede
A,B - C,D

Figura Nr. 34



Para enumerar la red, se realiza de igual forma que el diagrama anterior, de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo.

Figura Nr. 35



Ya las actividades no se identifican como en el diagrama de flechas, por ser cada actividad el mismo suceso o evento.

3.2. CALCULO DE REDES POR EL DIAGRAMA AEN

Para calcular la red por el diagrama AEN o de precedencias, el primer paso, luego de tener definidas las duraciones de cada actividad, con base en cantidades y rendimientos predeterminados, es:

- Calcular la iniciación adelantada y la terminación adelantada: Partiendo del primer nodo, con valor cero (0), se calcula de izquierda a derecha, sumando y escogiendo el mayor tiempo en el nudo o evento. Teniendo en cuenta que Iniciación adelantada más duración es igual a terminación adelantada.
    - IA + D = TA.

Actividad Tiempo

A = 3
B = 2
C = 1
D = 4

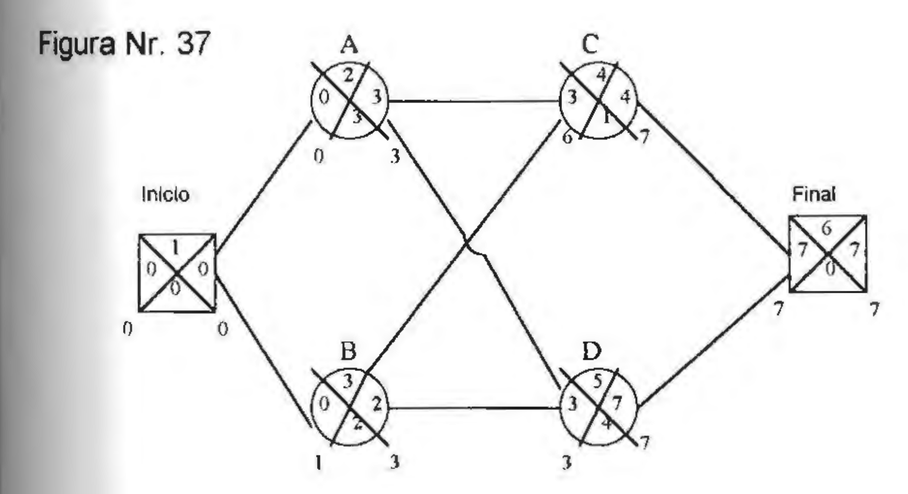
Figura Nr. 36

Se empieza en el nudo uno (1), que en este caso es nodo inicial de red, y como no tiene duración, el cálculo es así: se coloca la iniciación adelantada que es cero (0), más la duración que es cero (0), da la terminación adelantada con valor cero (0). Pasamos al nudo dos (2), al que sólo le llega una línea de enlace que procede del nodo uno (1); se toma como iniciación adelantada, el valor de la terminación adelantada del nodo anterior, en este caso es cero (0), se le suma la duración de la actividad, que es de tres (3), y da la terminación adelantada de esta actividad, denominada A, en el nudo dos (2), y da un valor de tres (3).

Sucesivamente se hace nodo por nodo, teniendo en cuenta que cuando a un nodo le llegan dos líneas de enlace, se escoge el mayor tiempo para colocar como iniciación adelantada.

- El segundo paso, es calcular la terminación tardía y la iniciación tardía. Partiendo del último evento, se coloca el valor calculado en la terminación adelantada de la actividad, y se procede a calcular de derecha a izquierda, restando, y escogiendo el menor tiempo en el nudo o evento.
    - TT - D = IT

Figura Nr. 37

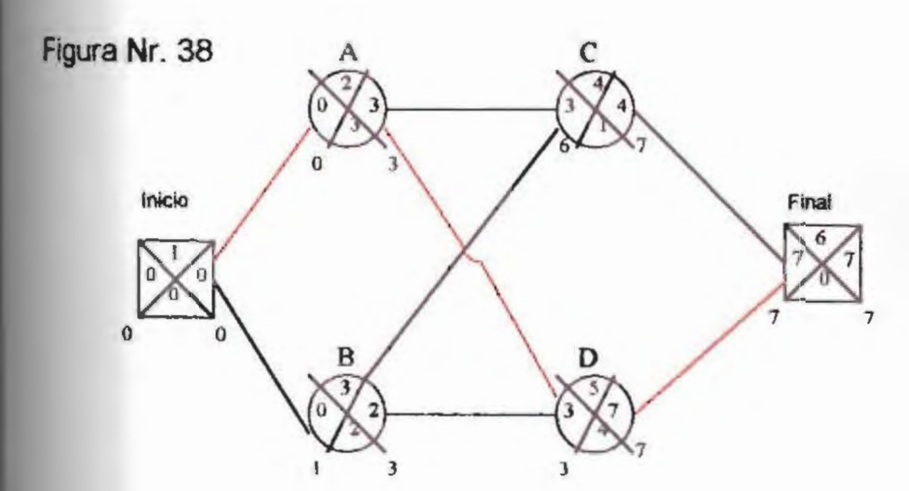


El cálculo se inicia en el último evento, tomando el valor de la terminación adelantada, que en este caso en el último nudo es de siete (7), y se toma como terminación tardía. Se le resta la duración, en este evento, que es nudo final sólo para cerrar la red, la duración es cero (0); tenemos entonces la iniciación tardía, que será de siete (7).

Sucesivamente se procede nudo por nudo, y se miran cuantas líneas de enlace salen de ésta, teniendo en cuenta que se debe escoger el menor tiempo para colocar como terminación tardía, en la actividad examinada.

- El tercer paso, es determinar la Ruta Crítica, o sea el camino más largo; Empezando desde el primer evento, en donde coincidan iniciaciones y terminaciones, y teniendo en cuenta la duración de cada actividad.

Figura Nr. 38



3.2.1. Ejercicio Nr. 10

1. Elaborar red por el método LPU.
2. Enumerar la red.
3. Calcular la red.
4. Determinar la Ruta Crítica.
5. Elaborar cuadro resumen de cálculo
6. Elaborar diagrama de barras o gráfico de *Gantt*.

Actividad		Precede
A	-	B,C
B	-	D
C	-	E,F
D,E	-	G
E,F	-	H
G	-	I,J
H,I,J	-	K

Actividad Tiempo

A = 2
B = 3
C = 1
D = 4
E = 4
F = 1
G = 2
H = 1
I = 2
J = 2
K = 1

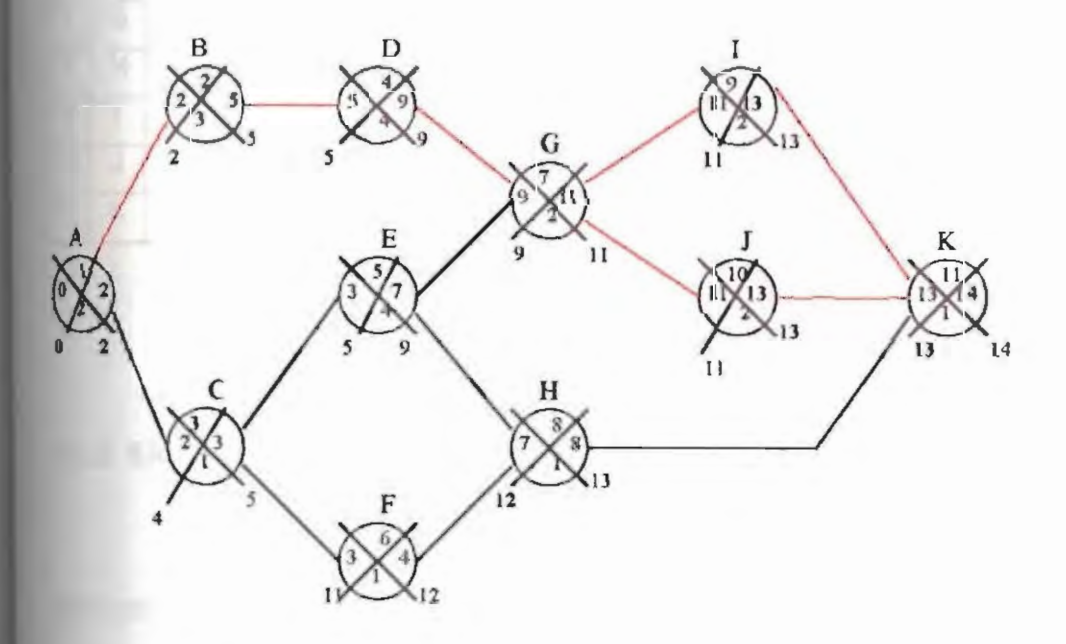


Figura Nr. 39

Tabla Nr. 7

CUADRO RESUMEN DE CALCULO

Nr	Act.	Dur	IA	IT	TA	TT	HT	HL	HI	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	A	2	0	0	2	2	0	0	0														
2	B	3	2	2	5	5	0	0	0		B												
3	C	1	2	4	3	5	2	0	2		C												
4	D	4	5	5	9	9	0	0	0					D									
5	E	4	3	5	7	9	2	2	0			E											
6	F	1	3	11	4	12	8	3	5			F											
7	G	2	9	9	11	11	0	0	0									G					
8	H	1	7	12	8	13	5	5	0							H							
9	I	2	11	11	13	13	0	0	0											I			
10	J	2	11	11	13	13	0	0	0											J			
11	K	1	13	13	14	14	0	0	0													K	

3.2.2. Ejercicio Nr. 11

Elaborar red por el método LPU.

1. Enumerar la red.
2. Calcular la red.
3. Determinar la Ruta Crítica.
4. Elaborar cuadro resumen de cálculo
5. Elaborar diagrama de barras o gráfico de *Gantt*.

Actividad Precede

A	-	B,C,D
B	-	C,D
C	-	E
D	-	F,G
E,F	-	H
G	-	I,J
I	-	K
J,K	-	L
H,K,L	-	M

Actividad - Tiempo

A	=	1
B	=	3
C	=	2
D	=	4
E	=	1
F	=	2
G	=	1
H	=	2
I	=	1
J	=	2
K	=	2
L	=	3
M	=	2

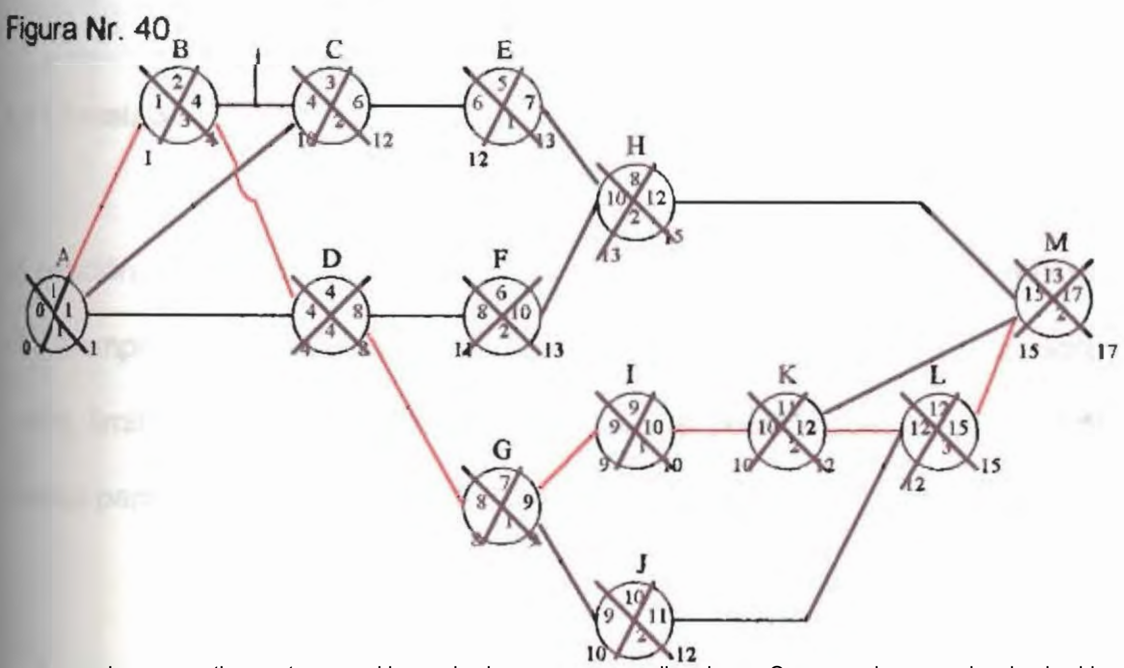


Figura Nr. 40

Tabla Nr. 8

CUADRO RESUMEN DE CALCULO

Nr	Act.	Dur	IA	IT	TA	TT	HT	HL	HI	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	A	1	0	0	1	1	0	0	0																	
2	B	3	1	1	4	4	0	0	0	B																
3	C	2	4	10	6	12	6	0	6				C													
4	D	4	4	4	8	8	0	0	0				D													
5	E	1	6	12	7	13	6	3	3						E											
6	F	2	8	11	10	13	3	0	3								F									
7	G	1	8	8	9	9	0	0	0								G									
8	H	2	10	13	12	15	3	3	0										H							
9	I	1	9	9	10	10	0	0	0									I								
10	J	2	9	10	11	12	1	1	0									J								
11	K	2	10	10	12	12	0	0	0										K							
12	L	3	12	12	15	15	0	0	0												L					
13	M	2	15	15	17	17	0	0	0															M		

3.3. TRASLAPOS E INTERVALOS

3.3.1 Traslapos

La relación de una actividad con otra cualquiera, trabajando con el método LPU, siempre será de terminación de una actividad a iniciación de la sucesora, y ésto, limita el campo de acción y otro tipo de posibilidades en el sentido práctico para la elaboración de una red, por el diagrama de precedencias.

Para solucionar dicha limitante, en el método LPU, se utiliza entonces el TRASLAPO, que se convierte en una holgura negativa, entre las actividades. Se coloca en la línea de unión de las actividades y reemplaza otros tipos de enlaces o de relaciones de actividades que no tiene este método y que en cambio lo poseen los métodos *FONDHAL* y KMPA.

En determinados proyectos, es muy frecuente que una actividad se inicie después de terminar la predecesora. Pero no siempre en todo proyecto, es indispensable que para iniciar una actividad, esté totalmente concluida la actividad anterior; aparece entonces el traslapo como alternativa, ya que éste nos representa una simultaneidad relativa, lo que quiere decir, que una actividad puede iniciar tanto tiempo después de iniciar la actividad anterior; o de la misma forma condicionar la terminación de una actividad, a la terminación de la predecesora.

Como se dijo antes los métodos *FONDHAL* y KMPA, lo utilizan directamente, con el método LPU, introducimos el traslapo en la red de precedencias. Para realizar traslapos entre dos actividades debemos seguir las siguientes reglas:

- El traslapo máximo a realizar entre dos actividades, debe ser menor a la duración menor entre las dos actividades.

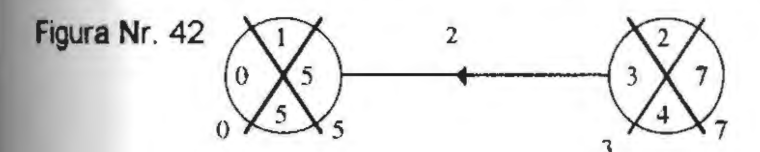
- Actividades que tengan duración igual a la unidad, no se debe traslapar, pues una actividad que condiciona a la otra, queda trabajando con su actividad sucesora en su inicio, en forma simultánea.
- Para calcular el traslapo, se realiza de la siguiente forma. Cuando en la red se está calculando la iniciación adelantada y la terminación adelantada, se debe restar la cantidad asignada a la terminación adelantada de la actividad predecesora, para colocar en la iniciación adelantada de la actividad sucesora. El traslapo entonces se señala en la línea de enlace o unión. Veamos un ejemplo:

Figura Nr. 41

- La actividad A, tiene una duración de cinco (5) días, y la actividad B, tiene una duración de tres (3) días. El traslapo máximo entre estas dos actividades, será entonces dos (2) días. Lo señalamos en la línea de enlace, y empezamos a calcular. Primero en la actividad A, iniciación adelantada es cero (0), más la duración de cinco (5), nos da la terminación adelantada de la actividad A, que será cinco (5). El traslapo escogido fue de dos (2) días, entonces terminación adelantada de la actividad A, menos el traslapo, nos da la iniciación adelantada de la actividad B, que será tres (3); y así sucesivamente con todas las actividades que se puedan traslapar.

- La segunda parte del cálculo, es cuando se realiza el proceso de derecha a izquierda, es decir estamos hallando la terminación tardía y la iniciación tardía, en este caso el traslapo se debe sumar. Veamos un ejemplo:

Figura Nr. 42



La actividad B, tiene como terminación adelantada, siete (7), este valor lo tomamos entonces por ser la última actividad de la red, como terminación tardía; tenemos que terminación tardía menos duración, igual a iniciación tardía, entonces en B, la iniciación tardía será tres (3). Para pasar a la actividad A, se debe sumar el traslapo, pues si este nos se realiza, quedaría entonces a con terminación adelantada de cinco (5), y terminación tardía de tres (3), lo cual no es posible. Luego de sumar el traslapo, la terminación tardía de la actividad A, será cinco (5); y así sucesivamente, si hay más actividades que poseen traslapos.

3.3.2 Ejercicio Nr. 12

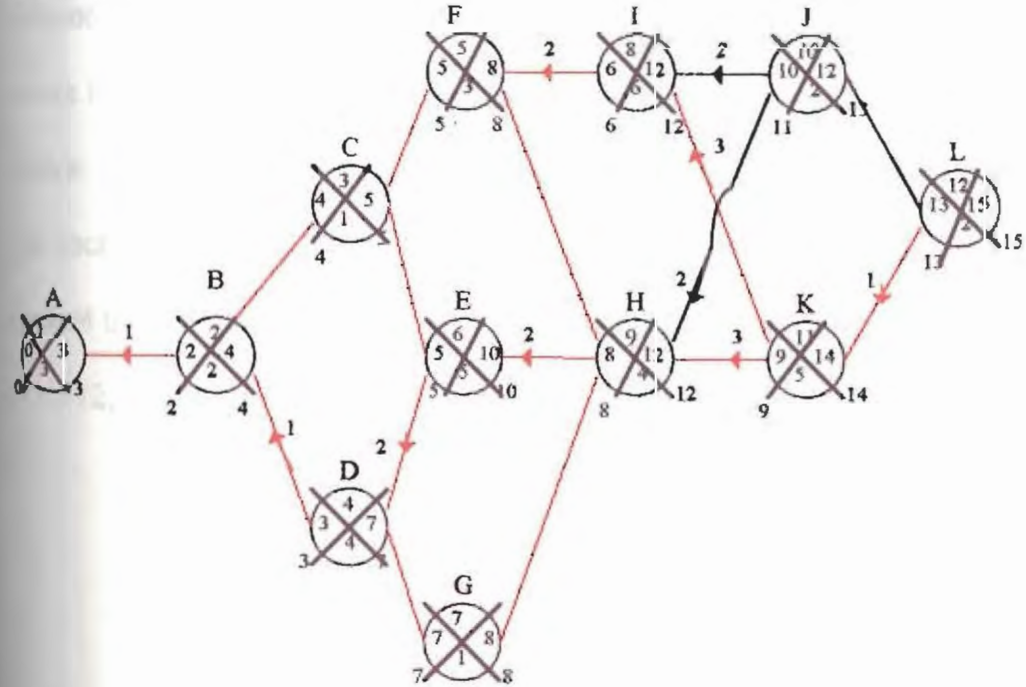
1. Elaborar red por el método LPU y enumerarla.
2. Calcularla con traslapos
3. Determinar la ruta crítica
4. Elaborar cuadro resumen de cálculo

Elaborar diagrama de barras.

Actividad		Precedencia
A	-	B
B	-	C,D
C	-	E,F
D	-	E,G
E,F,G	-	H
F	-	I
I,H	-	J,K
J,K	-	L

Actividad		Tiempo
A	=	3
B	=	2
C	=	1
D	=	4
E	=	5
F	=	3
G	=	1
H	=	4
I	=	6
J	=	2
K	=	5
L	=	2

Figura Nr. 43



Cuando estamos calculando una red por el diagrama de precedencias, con traslapos entre las actividades, debemos tener en cuenta varios aspectos:

- El traslapo cuando realizamos el cálculo hacia la derecha, se resta, por ser una holgura negativa.
- Cuando se realiza el cálculo hacia la izquierda, el traslapo debe sumarse.
- Cuando a un evento, en este caso de diagrama de precedencias hablamos igualmente de actividad, llegan dos líneas de enlace, se debe analizar independientemente cada enlace y programar el traslapo teórico.
- Luego de analizadas independientemente las líneas de enlace que llegan a determinada actividad, se escoge el mayor tiempo para colocar como iniciación adelantada de la actividad sucesora; y se analiza nuevamente cada una de las líneas de enlace que llegan, para comprobar el verdadero traslapo, y si lo hay, porque en forma independiente puede ocurrir, pero analizado en forma conjunta, se puede perder el traslapo, al escoger el mayor tiempo. Ejemplo: Nudos 10, 11 y 12, del Ejercicio anterior, en donde entre las actividades 10 y 12, se puede teóricamente traslapar un (1) día, y entre las actividades 11 y 12 se puede traslapar también un (1) día; como se escoge el mayor tiempo, y éste va por la actividad 11, entonces vemos que el traslapo teórico entre 10 y 12 desaparece, y el traslapo teórico entre 11 y 12, se vuelve un traslapo real.

- Se deben analizar entonces con sumo cuidado las actividades sucesoras que tengan dos o más líneas de enlace en la llegada, para no ocurrir en errores en la concepción de los traslapos.

Tabla Nr. 9

Nr	Act.	Dur	IA	IT	TA	TT	HT	HL	HI	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	A	3	0	0	3	3	0	0	0															
2	B	2	2	2	4	4	0	0	0		B													
3	C	1	4	4	5	5	0	0	0				C											
4	D	4	3	3	7	7	0	0	0			D												
5	F	3	5	5	8	8	0	0	0					F										
6	E	5	5	5	10	10	0	0	0					E										
7	G	1	7	7	8	8	0	0	0							G								
8	I	6	6	6	12	12	0	0	0						I									
9	H	4	8	8	12	12	0	0	0						H									
10	J	2	10	11	12	13	1	1	0										J					
11	K	5	9	9	14	14	0	0	0									K						
12	L	2	13	13	15	15	0	0	0													L		

3.3.3 Intervalos

Los intervalos en el diagrama de precedencias, es la diferencia que existe entre la terminación adelantada de una actividad y la iniciación adelantada de la actividad siguiente. El intervalo, es básicamente la holgura que existe entre actividades, para poder luego reprogramarlas. El intervalo igual que los traslapos, se señala en la línea de enlace o línea de unión entre actividades. Por ser el intervalo una diferencia, ni resta ni suma , en el momento de

realizar los cálculos en el diagrama, bien sea hacia la derecha, como hacia la izquierda.

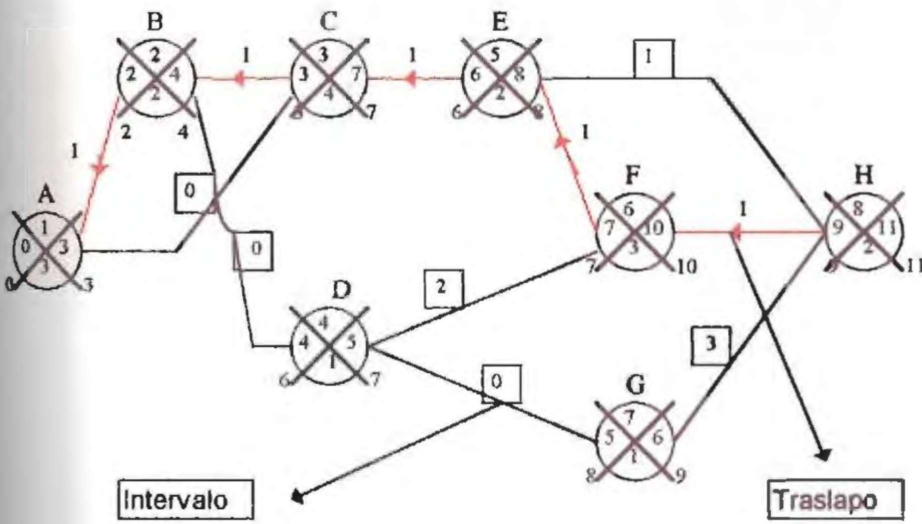
3.3.4. Ejercicio Nr. 13

1. Elaborar red por el método LPU y enumerarla.
2. Calcular la red con traslapos e intervalos.
3. Determinar la Ruta crítica.

Actividad		Precedencia
A	-	B,C
B	-	C,D
C	-	E
D,E	-	F
D	-	G
E,F,G	-	H

Actividad		Tiempo
A	=	3
B	=	2
C	=	4
D	=	1
E	=	2
F	=	3
G	=	1
H	=	2

Figura Nr. 44



4. Elaborar cuadro resumen de cálculo.

5. Elaborar diagrama de barras.

Tabla Nr. 10

Nr	Act.	Dur	IA	IT	TA	TT	HT	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	A	3	0	0	3	3	0											
2	B	2	2	2	4	4	0		B									
3	C	4	3	3	7	7	0			C								
4	D	1	4	6	5	7	2				D							
5	E	2	6	6	8	8	0						E					
6	F	3	7	7	10	10	0							F				
7	G	1	5	8	6	9	3					G						
8	H	2	9	9	11	11	0									H		

- Es importante destacar que en donde hay traslapo, no hay intervalo.
- Las actividades que tienen ruta crítica pueden tener o no traslapo, pero no tienen intervalo
- No siempre donde se presenta traslapo, debe pasar la Ruta crítica.

CAPITULO IV

4. RECURSOS

Las estimaciones y determinaciones de los tiempos consideran fundamentalmente la disponibilidad de los recursos. Aunque se hagan independientemente entre actividades, se debe considerarla posibilidad de que varias de ellas compartan los mismos recursos, especialmente cuando ocurren rutas paralelas.

Los recursos son aplicables al trabajo a realizarse, es decir a una actividad específica, o a un bloque de actividades, para poder producir los resultados deseados en la actividad, al precio de tiempo y costos.

4.1. ASIGNACION Y PLANIFICACION DE RECURSOS

La asignación de recursos se pueden medir en términos de *hombre/día, máquinas/horas,* etc., de esta manera una entrada de recursos para una actividad o un bloque de actividades, podría ser, por ejemplo:

- "10 días laborables trabajados por una persona de la categoría B".
- "3 días laborables trabajados por el Señor A".

"En el primer ejemplo, se especifican los servicios de un tipo de recurso y en el segundo se refieren a los servicios de un elemento de recurso"

La ejecución de una actividad, puede requerir asignación o entrada de recursos de diferentes tipos, es decir, con respecto a:

- Capacidad de las personas
- capacidad de las máquinas, etc.

La eficiencia de una asignación de recursos, se mide en función del trabajo realizado, tanto en cantidad como en calidad, por unidad de tiempo (día, hora, etc.).

En las etapas de planificación, cuando pensamos en términos de tipos de recursos, se tienen que aplicar eficiencias:

- normales y
- estándar.

Hay que tener en cuenta en esta etapa, las desviaciones en estas eficiencias, cuando se consideran los elementos de los recursos.

La diferencia en las eficiencias para los elementos de los recursos de los valores normales y estándar, dependen de los siguientes aspectos:

- Educación y entrenamiento
- experiencia

- motivación personal
- edad
- calidad de trabajo
- cantidad de trabajo
- características de los materiales, etc.

La planificación de recursos para el proyecto empieza con el estudio de los tipos de recursos y los elementos de los mismos que estén disponibles, dentro de la organización que se esté ejecutando el proyecto y de fuentes externas, es decir recursos propios o internos y recursos externos; incluyendo sus propias características, como por ejemplo:

- el grado de disponibilidad
- la eficiencia con respecto al trabajo a realizarse y
- el precio de cada unidad de entrada de recursos.

Para las actividades o igualmente para bloques de actividades, se deben evaluar las diferentes combinaciones de recursos, alternativas, que proporcionen una indicación con respecto a:

- duración y costos de la actividad y
- resultados de la actividad.

Lo anterior, para cada alternativa evaluada.

4.2. DISTRIBUCION DE RECURSOS

Los requerimientos diarios de un recurso dependen del número de actividades programadas en el día. Las actividades ligadas entre sí por la relación de secuencia de la red, disponen de algunos márgenes de tiempo para su realización, que se llaman holguras, ya vistas anteriormente.

El ajuste de actividades entre los márgenes de fluctuación, de tal manera que la demanda diaria de recursos sea la más conveniente, es lo que denominamos la distribución de recursos. La distribución de recursos se realiza entonces tomando día por día las actividades que se programaron, haciendo una sumatoria de entrada de recursos totales, teniendo en cuenta las relaciones estructurales entre las actividades.

Se crea entonces en el cuadro resumen de cálculo, una columna en donde se registrarán los recursos asignados por cada actividad.

Tabla Nr. 11

Nr	Act.	Dur	IA	IT	TA	TT	HT	RECURSOS	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	A	6	0	4	6	10	4	2	2	2	2	2	2	2									
2	B	6	4	7	10	13	3	3					3	3	3	3	3	3					
3	C	6	9	9	15	15	0	1										1	1	1	1	1	1
								Distribución	2	2	2	2	5	5	3	3	3	4	4	1	1	1	1

4.3. NIVELACIÓN DE RECURSOS

Hay unas actividades que son más importantes que otras, y por lo tanto pueden consumir un número mayor de recursos; esta asignación depende entonces de su importancia dentro del contexto del proyecto que se está programando y de la rapidez con se requiere finalizar determinada tarea.

Una nivelación de recursos se puede hacer manual, cuando el proyecto es manejable y que no contemple demasiadas tareas; caso contrario, cuando un proyecto es demasiado grande, se debe hacer uso del computador, ya se encuentran algunos programas o *software*, que nos ayudan a realizar esta asignación, distribución y especialmente la nivelación, utilizando una serie de tanteos y escogiendo la mejor distribución.

Al tratar de encontrar la mejor distribución de recursos, se debe elevar al cuadrado los recursos requeridos diariamente y sumarlos, obteniendo así una sumatoria de cuadrados. La mejor distribución de recursos, corresponde a la menor suma de cuadrados.

Para ejecutar las nivelaciones de recursos, se hace uso de la holgura total, desplazando hacia adelante, las actividades que tienen dicho margen de fluctuación; usando total o parcialmente la holgura.

Se repite entonces el proceso de distribución de recursos, sumando verticalmente en cada fecha y en todas las actividades que se desarrollan en esa fecha.

Tomando como base el ejercicio anterior (ver, tabla Nr. 11), procederemos a encontrar entonces la sumatoria de cuadrados:

- tenemos que del número uno (1), el cuadrado de este número es uno (1), se multiplica por el número de veces que se encuentra en la distribución, que es cinco (5), nos da el valor total, que es cinco (5); se toma sucesivamente con cada número que aparece en la distribución:

1	→ 1 x 5 = 5

Tabla Nr. 12

Número	Cuadrado	Nr.de veces	Total
1	1	5	5
2	4	4	16
3	9	3	27
4	16	1	16
5	25	2	50
		15	114
		↑ Número de días de la red	↑ Sumatoria de cuadrados

La sumatoria de cuadrados del ejercicio de la tabla Nr. 11, en su primera distribución es 114.

Tabla Nr. 13

Nr	Act.	Dur.	IA	IT	TA	TT	HT	REC	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	A	6	0	4	6	10	4	2	2	2	2	2	2	2									
2	B	6	4	7	10	13	3	3					3	3	3	3	3	3					
3	C	6	9	9	15	15	0	1										1	1	1	1	1	1
								1a.D	2	2	2	2	5	5	3	3	3	4	1	1	1	1	1
									Sumatoria de cuadrados												114		

Para realizar la segunda distribución o primera nivelación de recursos, se hace uso de las actividades que poseen holgura, desplazándola hacia la derecha. Continuando con el ejercicio desplazaremos la actividad B, de una iniciación en cuatro (4), a una iniciación en seis (6), utilizando parcialmente su holgura, y distribuimos nuevamente los recursos sumando verticalmente por fecha, de igual forma como realizamos el proceso anterior.

Tabla Nr. 14

Nr	Act.	Dur.	IA	IT	TA	TT	HT	REC	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	Sumatoria de cuadrados
1	A	6	0	4	6	10	4	2	2	2	2	2	2	2										
2	B	6	4	7	10	13	3	3							3	3	3	3	3	3				
3	C	6	9	9	15	15	0	1										1	1	1	1	1	1	
								1a.D	2	2	2	2	5	5	3	3	3	4	4	1	1	1	1	114
								2a.D	2	2	2	2	2	2	3	3	3	4	4	4	1	1	1	102

Tabla Nr. 15

Número	Cuadrado	Nr.de veces	Total
1	1	3	3
2	4	6	24
3	9	3	27
4	16	3	48
		15	102
		↑ Número de días de la red	↑ Sumatoria de cuadrados

La segunda distribución o primera nivelación nos da un total en la suma de cuadrados de 102. Como la menor suma de cuadrados, es la mejor distribución, tomamos la segunda, como ***la mejor distribución de recursos.***

4.4. HISTOGRAMA DE RECURSOS

El histograma de recursos, es llevar a una gráfica, la mejor distribución de recursos, para poder visualizar de una mejor forma, la distribución del recurso, en este caso personal o mano de obra, a lo largo de todo el programa o proyecto realizado, y poder tener luego un control más eficaz sobre éstos, y sobre el programa.

Tabla Nr. 16

Nr	Act.	Dur	IA	IT	TA	TT	HT	REC	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	Sumatoria de cuadrados
1	A	6	0	4	6	10	4	2	2	2	2	2	2	2										
2	B	6	4	7	10	13	3	3							3	3	3	3	3	3				
3	C	6	9	9	15	15	0	1										1	1	1	1	1	1	
								1a.D	2	2	2	2	5	5	3	3	3	4	4	1	1	1	1	114
								2a.D	2	2	2	2	2	2	3	3	3	4	4	4	1	1	1	102
								4																
								3																
								2																
								1																

4.5. EJERCICIO NR. 14

1. Elaborar red por el método LPU.
2. Calcular la red con traslapos e intervalos
3. Determinar la ruta crítica
4. Elaborar cuadro resumen de cálculo
5. Elaborar diagrama de barras
6. Asignar, distribuir y nivelar recursos
7. Elaborar diagrama de recursos

Actividad Precedencia

A	-	B,C.D
B	-	E
E	-	F
F	-	G
G	-	H
C,D	-	I
I	-	J,K
J,K	-	L
H,L	-	M

Actividad Tiempo Recursos

A	=	2	-	2
B	=	1	-	2
C	=	2	-	1
D	=	7	-	1
E	=	2	-	3
F	=	2	-	2
G	=	2	-	1
H	=	3	-	2
I	=	3	-	1
J	=	1	-	3
K	=	6	-	2
L	=	3	-	1
M	=	2	-	2

Figura. Nr. 45

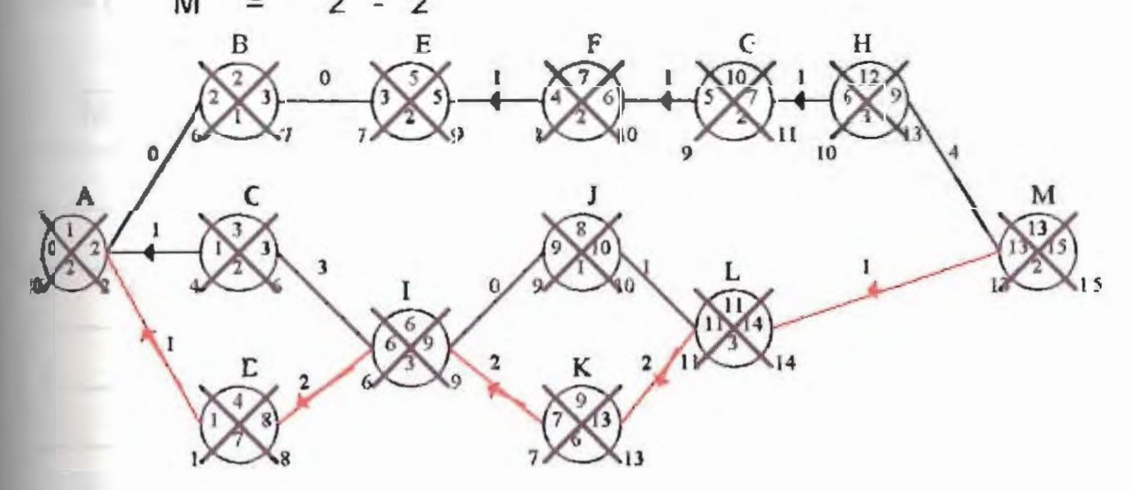


Tabla Nr. 17

Nr	Act	Dur	IA	IT	TA	TT	HT	REC	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
1	A	2	0	0	2	2	0	2	2	2														
2	B	1	2	6	3	7	4	2		B	2													
3	C	2	1	4	3	6	3	1	C	1	1													
4	D	7	1	1	8	8	0	1	D	1	1	1	1	1	1	1								
5	E	2	3	7	5	9	4	3			E	3	3											
6	I	3	6	6	9	9	0	1						I	1	1	1							
7	F	2	4	8	6	10	4	2				F	2	2										
8	J	1	9	9	10	10	0	3									J	3						
9	K	6	7	7	13	13	0	2							K	2	2	2	2	2	2			
10	G	2	5	9	7	11	4	1					G	1	1									
11	L	3	11	11	14	14	0	1											L	1	1	1		
12	H	3	6	10	9	13	4	2						H	2	2	2							
13	M	2	13	13	15	15	0	2													M	2	2	
								1a.D	2	4	4	4	6	4	5	6	5	5	2	3	3	3	2	250

Tabla Nr. 18

Número	Cuadrado	Nr.de veces	Total
2	4	3	12
3	9	. 3	27
4	16	4	64
5	25	3	75
6	36	2	72
		15	250
		↑ Número de días de la red	↑ Sumatoria de cuadrados

Se realiza entonces la primera nivelación, desplazando **H** de su iniciación en el día seis (6), a una iniciación en el día diez (10), y así obtenemos la segunda distribución de recursos.

Tabla Nr. 19

Nr	Act.	Dur	IA	IT	TA	TT	HT	REC	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
1	A	2	0	0	2	2	0	2	2	2														
2	B	1	2	6	3	7	4	2		B	2													
3	C	2	1	4	3	6	3	1	C	1	1													
4	D	7	1	1	8	8	0	1	D	1	1	1	1	1	1	1								
5	E	2	3	7	5	9	4	3			E	3	3											
6	I	3	6	6	9	9	0	1						I	1	1	1							
7	F	2	4	8	6	10	4	2				F	2	2										
8	J	1	9	9	10	10	0	3									J	3						
9	K	6	7	7	13	13	0	2							K	2	2	2	2	2	2			
10	G	2	5	9	7	11	4	1					G	1	1									
11	L	3	11	11	14	14	0	1											L	1	1	1		
12	H	3	6	10	9	13	4	2						H					2	2	2			
13	M	2	13	13	15	15	0	2													M	2	2	
								1a.D	2	4	4	4	6	4	5	6	5	5	2	3	3	3	2	250
								2a.D	2	4	4	4	6	4	3	4	3	5	4	5	5	3	2	242

Entraremos luego a realizar la sumatoria de cuadrados de los recursos, para encontrar la óptima utilización de éstos.

Tabla Nr. 20

Número	Cuadrado	Nr.de veces	Total
2	4	2	8
3	9	3	27
4	16	6	96
5	25	3	75
6	36	1	36
		15	242
		Número de días de la red ↑	↑ Sumatoria de cuadrados

Se procede a realizar una segunda nivelación, desplazando la actividad G, de su iniciación adelantada del día cinco (5), al día siete (7); y la actividad F, de su iniciación adelantada del día cuatro (4), al día cinco (5). Tenemos así, una tercera distribución de recursos.

Se continua entonces, con la distribución dentro del diagrama de barras, tratando de encontrar la mejor distribución de recursos, dentro del ejercicio realizado.

Tabla Nr. 21

CUADRO RESUMEN DE CALCULO

Nr	Act.	Dur	IA	IT	TA	TT	HT	REC	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
1	A	2	0	0	2	2	0	2	2	2														
2	B	1	2	6	3	7	4	2		B	2													
3	C	2	1	4	3	6	3	1	C	1	1													
4	D	7	1	1	8	8	0	1	D	1	1	1	1	1	1	1								
5	E	2	3	7	5	9	4	3			E	3	3											
6	I	3	6	6	9	9	0	1						I	1	1	1							
7	F	2	4	8	6	10	4	2				F		2	2									
8	J	1	9	9	10	10	0	3									J	3						
9	K	6	7	7	13	13	0	2							K	2	2	2	2	2	2			
10	G	2	5	9	7	11	4	1					G			1	1							
11	L	3	11	11	14	14	0	1											L	1	1	1		
12	H	3	6	10	9	13	4	2						H					[illegible]	[illegible]	[illegible]			
13	M	2	13	13	15	15	0	2													M	2	2	
								1a.D	2	4	4	4	6	4	5	6	5	5	2	3	3	3	2	250
								2a.D	2	4	4	4	6	4	3	4	3	5	4	5	5	3	2	242
								3a.D	2	4	4	4	4	4	4	5	4	5	4	5	5	3	2	245

Se realiza la sumatoria de cuadrados de esta tercera distribución, o segunda nivelación, para ver si ésta es mejor que las dos anteriores.

Tabla Nr. 22

Número	Cuadrado	Nr.de veces	Total
2	4	2	8
3	9	1	9
4	16	8	128
5	25	4	100
		15	245
		↑ Número de días de la red	↑ Sumatoria de cuadrados

Haremos una tercera nivelación, para tener una cuarta distribución de recursos, y ver si ésta, es mejor que las distribuciones anteriores, para ello, se desplaza la actividad H, de su iniciación adelantada del día diez (10), al día seis (6); la actividad F, de su iniciación adelantada del día cinco (5), al día seis (6); la actividad G, de su iniciación adelantada del día siete (7), al día nueve (9); y la actividad C, de su iniciación adelantada del día uno (1), al día cuatro (4); Luego realizamos la distribución en el diagrama de barras.

Tabla Nr. 23

CUADRO RESUMEN DE CALCULO

Nr	Act.	Dur	IA	IT	TA	TT	HT	REC	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
1	A	2	0	0	2	2	0	2	2	2														
2	B	1	2	6	3	7	4	2		B	2													
3	C	2	1	4	3	6	3	1	C				1	1										
4	D	7	1	1	8	8	0	1	D	1	1	1	1	1	1	1								
5	E	2	3	7	5	9	4	3			E	3	3											
6	I	3	6	6	9	9	0	1						I	1	1	1							
7	F	2	4	8	6	10	4	2				F			2	2								
8	J	1	9	9	10	10	0	3									J	3						
9	K	6	7	7	13	13	0	2							K	2	2	2	2	2	2			
10	G	2	5	9	7	11	4	1					G					1	1					
11	L	3	11	11	14	14	0	1											L	1	1	1		
12	H	3	6	10	9	13	4	2						H	2	2	2							
13	M	2	13	13	15	15	0	2													M	2	2	
								1a.D	2	4	4	4	6	4	5	6	5	5	2	3	3	3	2	250
								2a.D	2	4	4	4	6	4	3	4	3	5	4	5	5	3	2	242
								3a.D	2	4	4	4	4	4	4	5	4	5	4	5	5	3	2	245
								4a.D	2	3	3	4	5	2	6	8	5	6	3	3	3	3	2	268

Se realiza la sumatoria de cuadrados de esta cuarta nivelación, para ver si es o no la mejor distribución de los recursos.

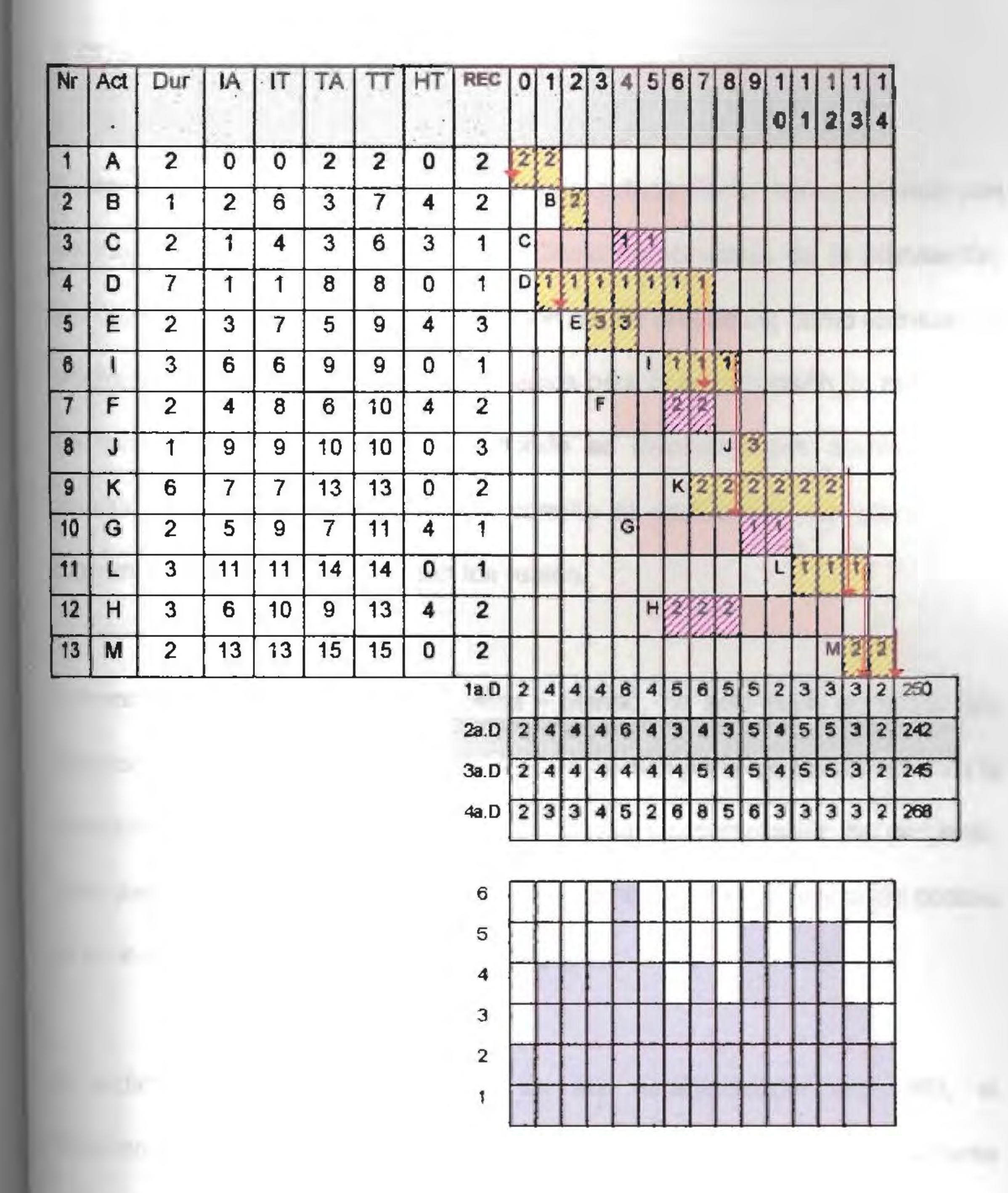
Tabla Nr. 24

Número	Cuadrado	Nr.de veces	Total
2	4	3	12
3	9	6	54
4	16	1	16
5	25	2	50
6	36	2	72
8	64	1	64
		15	268
		↑ Número de días de la red	↑ Sumatoria de cuadrados

Analizadas las cuatro distribuciones del ejercicio, se pude observar que la segunda distribución, con una sumatoria de cuadrados de 242, es la menor, y para obtener la mejor distribución de recursos, se toma la menor sumatoria de cuadrados.

Esta segunda distribución la llevamos a una gráfica, que se denomina histograma de recursos.

Tabla Nr. 25



Nr	Act.	Dur	IA	IT	TA	TT	HT	REC	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	A	2	0	0	2	2	0	2	2	2													
2	B	1	2	6	3	7	4	2		B	2												
3	C	2	1	4	3	6	3	1	C				1	1									
4	D	7	1	1	8	8	0	1	D	1	1	1	1	1	1	1							
5	E	2	3	7	5	9	4	3			E	3	3										
6	I	3	6	6	9	9	0	1						I	1	1	1						
7	F	2	4	8	6	10	4	2				F			2	2							
8	J	1	9	9	10	10	0	3									J	3					
9	K	6	7	7	13	13	0	2							K	2	2	2	2	2	2		
10	G	2	5	9	7	11	4	1					G					1	1				
11	L	3	11	11	14	14	0	1											L	1	1	1	
12	H	3	6	10	9	13	4	2						H	2	2	2						
13	M	2	13	13	15	15	0	2													M	2	2

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
1a.D	2	4	4	4	6	4	5	6	5	5	2	3	3	3	2	250
2a.D	2	4	4	4	6	4	3	4	3	5	4	5	5	3	2	242
3a.D	2	4	4	4	4	4	4	5	4	5	4	5	5	3	2	245
4a.D	2	3	3	4	5	2	6	8	5	6	3	3	3	3	2	268

CAPITULO V

5. COSTOS

Siempre se han considerado los métodos de ordenamiento, como sistemas con metodologías orientadas en el tiempo. Como herramientas de la planeación, son útiles en la estimación de la duración de los proyectos; como técnicas de programación, nos proporcionan los medios para la construcción de redes y la estimación de las actividades, en donde se involucran los costos de las mismas. Como sistema de control, permite la verificación de los tiempos programados, comparándolos con los reales.

Debemos considerar la función costos - tiempo, no sólo para encontrar las duraciones de las actividades, sino para que formen parte de los cálculos en la optimización de los costos del proyecto, tanto para programación del proyecto, como para control del mismo, teniendo en cuenta, que el control a los costos, es tan importante como el control a los tiempos.

A medida que el método PERT, se iba estableciendo, en 1962, el Departamento de defensa de los Estados Unidos, desarrolló un sistema referente al aspecto de los costos del PERT, como una extensión del enfoque PERT, relacionado con los tiempos; incluye, estimaciones de mano de obra,

materiales y otros recursos necesarios para realizar grupos de actividades, llamados paquetes de trabajo. Luego éstos se llevan a unidades, buscando integrar los conceptos de costo y tiempo en una estructura común.

Aunque los sistemas de costos para los diferentes métodos de ordenamiento son sencillos, difieren estructuralmente de los sistemas comunes de contabilidad de costos, debido a que su cuantía y control se realizan en términos del proyecto y no según la organización funcional de la empresa. Es decir, las actividades o grupos o bloques de actividades se organizan en forma de centros de costos desde punto de vista del control del proyecto, y no se consideran unidades organizativas tales como departamentos, secciones, divisiones, etc.

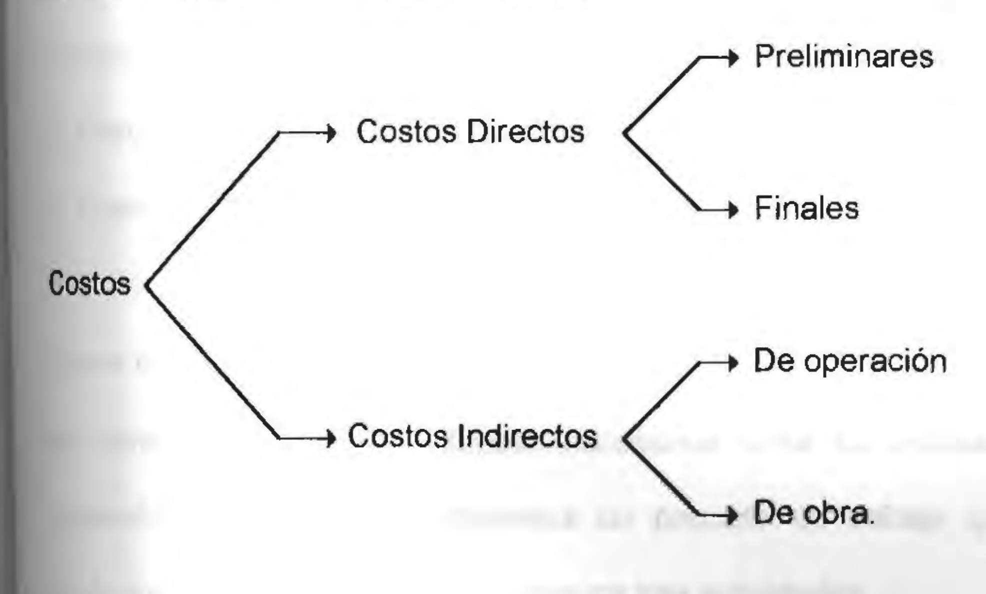
Para cualquier proyecto, es útil conocer cual es el tiempo de los gastos de un proyecto con fines específicos de planeación y presupuestación. Se deben estimar los costos par cada actividad o paquetes de trabajo, para facilitar la labor de la proyección de los costos basados en una programación.

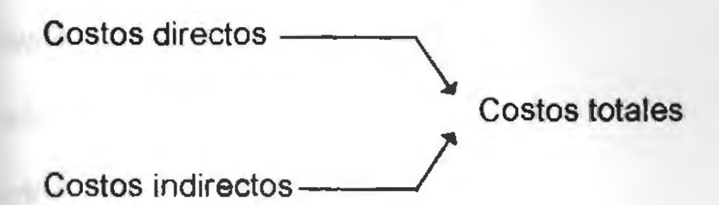
Teniendo la información precisa para cada actividad en la que relacionamos el tiempo y determinamos la ruta crítica, podemos determinar el costo, relacionado con el tiempo.

Hay en toda actividad, una relación directa entre el tiempo y el costo, en donde hay que tener en cuenta a que tipo de costo pertenece.

Dando una definición simple de costo, ésta es: es una cantidad que se da o se paga.

Dentro de los costos vamos a encontrar:





5.1. COSTOS DIRECTOS

Los costos directos, son los costos consumidos directamente en la producción, como jornales, materiales, maquinaria, etc. Son aquellos gastos que tienen aplicación, a un producto o un proceso determinado. En síntesis, un costo directo, es la sumatoria de la mano de obra, los materiales y el equipo, necesarios para la realización de un proceso, bien sea constructivo o de producción.

Dentro de los costos directos, encontramos dos tipos de costos:

- Costo directo preliminar
- Costo directo final.

Costo directo preliminar: corresponde a la sumatoria de los gastos de mano de obra, materiales y equipos, necesarios para la realización de un subproducto. Por ejemplo: tenemos un paquete de trabajo que se llama fundaciones, dentro de éste encontramos tres actividades:

- Excavación fundaciones
- Armado y formado fundaciones
- vaciado fundaciones.

El costo directo preliminar, será la sumatoria de los materiales, la mano de obra y equipos de cualquiera de estas actividades, que se denomina subproducto, del paquete de trabajo llamado fundaciones.

Costo directo final: corresponde a la sumatoria de gastos de la mano de obra, los materiales y los equipos, necesarios para la realización de un producto final.

En el ejemplo anterior, el paquete de trabajo denominado fundaciones, es el producto final, en donde cada uno de los subproductos de ésta, posee un costo directo, y la sumatoria de los materiales, mano de obra y equipos de cada uno de estos subproductos, forman el costo directo final.

5.2. COSTOS INDIRECTOS

Los costos indirectos, son los que conforman la estructura organizativa de una empresa, tales como:

- gastos de oficina
- intereses
- financiación
- utilidad
- publicidad
- honorarios, etc.

Los costos indirectos, corresponde a la suma de gastos técnico, administrativos, legales, etc., necesarios para la correcta realización de cualquier proceso, sea constructivo, de producción, etc.

Estos costos indirectos, se dividen en:

- Costos indirectos de operación
- Costos indirectos de obra.

Costos indirectos de operación: es la suma de todos los costos, que por su naturaleza, se pueden aplicar a todos los conceptos de una obra. Son para el correcto funcionamiento, especialmente administrativo de un proyecto. Corresponden a estos costos los siguientes:

- Seguridad social
- Servicios públicos oficina
- imprevistos
- utilidad
- nóminas de administración
- legales
- promoción
- gastos generales
- honorarios, etc.

Costos indirectos de obra: son los costos relacionados con el funcionamiento de la obra, como pueden ser:

- Residentes
- Director
- Vigilancia
- caja menor obra.
- almacén, etc.

Los costos indirectos, muchos se ven afectados por la duración total del proyecto. A un mayor tiempo, tendremos un mayor costo o gasto.

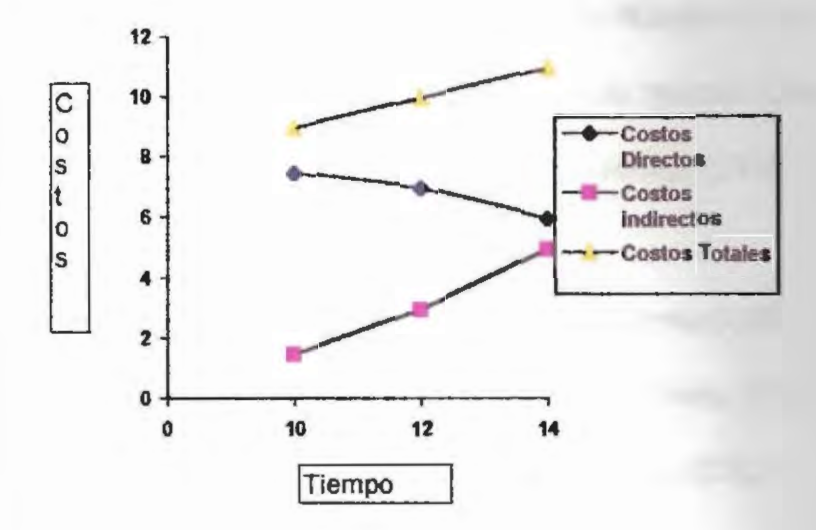
5.3. COSTOS TOTALES

Los costos totales, corresponden a la sumatoria de costos directo más los costos indirectos.

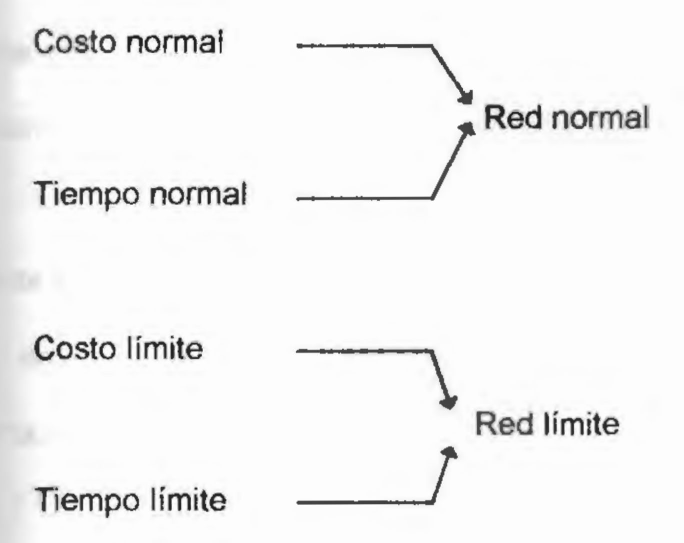
$$CT = CD + CI$$

En un programa realizado, la duración el proyecto es inversamente proporcional a los costos directos, y directamente proporcional a los costos indirectos; es decir, que entre mayor sea la duración del proyecto, los costos directos disminuyen, y los costos indirectos aumentan.

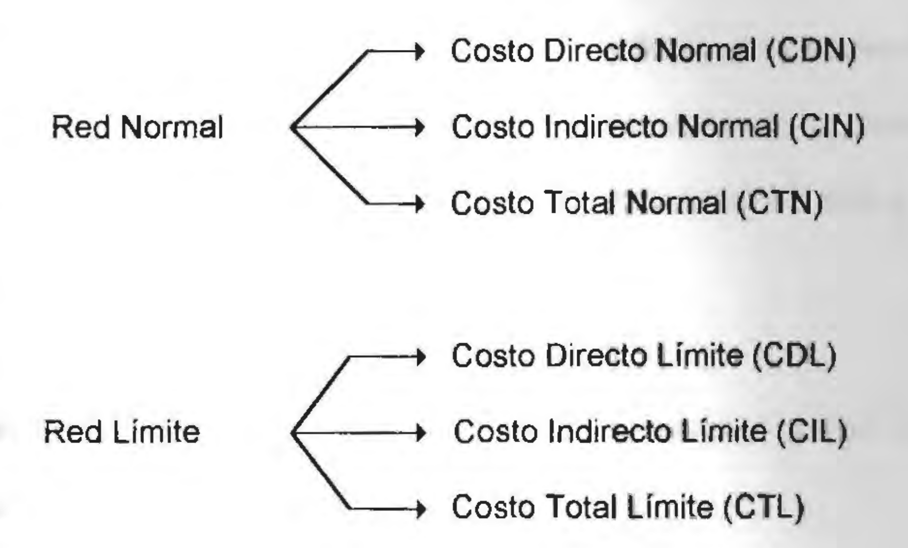
Figura Nr. 46



Para todo proyecto, se debe considerar:



Para cada una de las redes, tanto la Red normal, como la Red límite, vamos a considerar:



5.4. PENDIENTE DE COSTOS

Con base en los costos y tiempos normales, y en los costos y tiempos límites, encontramos entonces la PENDIENTE DE COSTOS, para cada actividad.

Pendiente de costos: la pendiente es la variación del costo por unidad del tiempo, en la actividad. La pendiente de costos es muy útil para la determinación de los puntos óptimos de tiempo y costo para cada actividad.

$$\text{Pendiente} = \frac{\text{Costo Límite - Costo Normal}}{\text{Tiempo Límite - Tiempo Normal}}$$

$$P = \frac{CL - CN}{TL - TN}$$

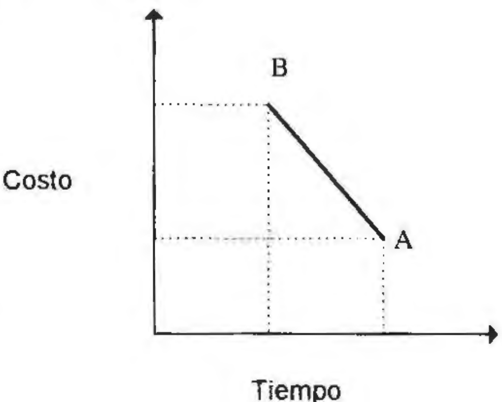
Dado que el tiempo límite es menor que el tiempo normal, tendríamos una cantidad con signo negativo, que produce una cifra en la pendiente con el mismo signo. Pero como sólo se necesita conocer la variación de cambio en el costo, con relación al cambio en el tiempo, empleamos el valor o la cifra absoluta.

Para reducir o acortar tiempo en un proyecto, se pueden utilizar diferentes procedimientos:

1. Asignar más personas a la actividad
2. Trabajar más jornadas u horas extras
3. Pagar primas de mano de obra
4. Pagar bonificaciones
5. Duplicar recursos
6. Buscar otras técnicas de ejecución.

En todo programa o proceso, se debe tratar de obtener el menor costo total, con el mínimo tiempo de ejecución.


Figura Nr. 47



El punto A, nos indica el menor costo directo en el cual se puede ejecutar dicha actividad; el cual coincide con el mayor tiempo de ejecución.

5.5. DESARROLLO DE LOS COSTOS EN UN PROGRAMA DE RED

- Lo primero a realizar son las actividades del proyecto.
- Se desarrolla la red, que denominaremos normal.
- Se calculan los tiempos normales y los costos normales.
- Se realiza el calculo de acortamientos posibles para el tiempo límite, haciendo una compresión de algunas actividades de la red normal, para disminuir la duración del proyecto, haciendo análisis de las actividades de la ruta crítica, en la red normal.
- Se realiza el cálculo de los costos límites, con sus incrementos.
- Se elabora la red límite.
- Se hace el cálculo de pendientes para cada una de las actividades.
- Se elabora el cuadro de cálculo, para tener una visualización del ejercicio.
- Se realiza la gráfica de costos - tiempo.

5.6. EJERCICIO NR. 15

Elaborar red por el método LPU, y seguir los pasos del numeral 5.5 para desarrollar el siguiente ejercicio.

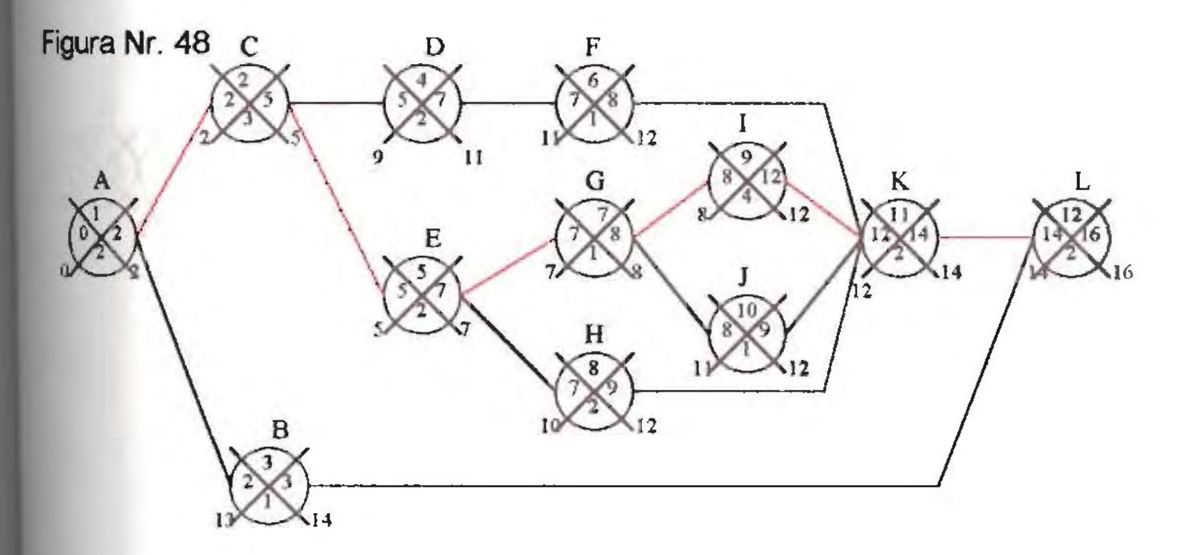
Actividad	Precedencia
A	B,C
C	D,E
D	F
E	G,H
G	I,J
F,H,I,J	K
B,K	L

Actividad	TN	CN
A	2	1000
B	1	850
C	3	600
D	2	1200
E	2	1300
F	1	450
G	1	300
H	2	1500
I	4	200
J	1	650
K	2	1000
L	2	1800
		10850 CDN

Costo Indirecto por día $ 1250.

RED NORMAL

Figura Nr. 48



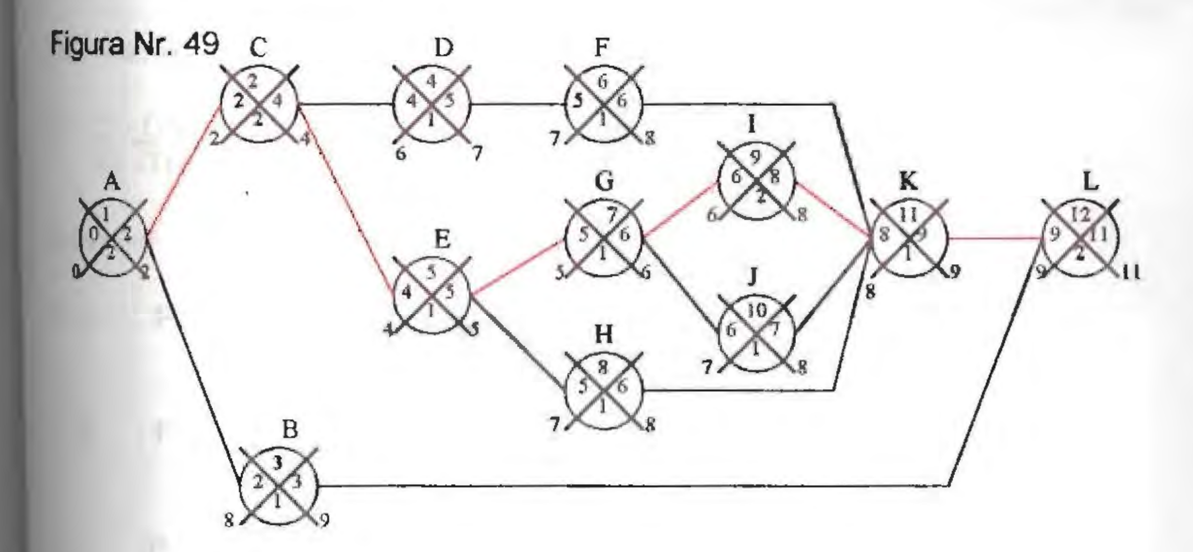
Realizamos ahora un acortamiento de las actividades, sin llegar a afectar la Ruta Crítica. La compresión de las actividades se realizan en la Red Normal, para disminuir la duración del proyecto.

Podemos hacer un acortamiento de las siguientes actividades, para elaborar la red límite:

- C de tres (3) días a dos (2) días,
- E, de dos (2) días, a un día (1).
- I, de cuatro (4) días, a dos (2) días y
- K, de dos (2) días, a un (1) día.
- D, de dos(2) días, a un (1) día
- H, de dos (2) días, a un (1) día.

Elaboramos Red Límite.

Figura Nr. 49



Procedemos a asumir los costos límites, y a calcular la disminución del tiempo, incremento del costo y la pendiente para cada actividad.

Tabla Nr. 26

Nr	Act.	TN	CN	TL	CL	Increm. Costo	Dism. Tiempo	Pend.
1	A	2	1000	2	1000	-	-	-
2	B	1	850	1	850	-	-	-
3	C	3	600	2	1000	400	1	400
4	D	2	1200	1	1650	450	1	450
5	E	2	1300	1	1500	200	1	200
6	F	1	450	1	450	-	-	-
7	G	1	300	1	300	-	-	-
8	H	2	1500	1	2000	500	1	250
9	I	4	200	2	600	400	2	200
10	J	1	650	1	650	-	-	-
11	K	2	1000	1	1350	350	1	350
12	L	2	1800	2	1800	-	-	-
			10850		13150			
			CDN		CDL			

Calculamos pendiente de costos para cada actividad:

$$P = \frac{CI - CN}{TL - TN}$$

(Se toma la cifra absoluta)

Actividad

- A $P = \frac{1000 - 1000}{2 - 2} = 0$ (No tiene pendiente)
- B $P = \frac{850 - 850}{1 - 1} = 0$
- C $P = \frac{1000 - 600}{2 - 3} = \frac{400}{1} = 400$

- D $P = \dfrac{1650 - 1200}{1 - 2} = \dfrac{450}{1} = 450$
- E $P = \dfrac{1500 - 1300}{1 - 2} = \dfrac{200}{1} = 200$
- F $P = \dfrac{450 - 450}{1 - 1} = 0$
- G $P = \dfrac{300 - 300}{1 - 1} = 0$
- H $P = \dfrac{2000 - 1500}{1 - 2} = \dfrac{500}{1} = 500$
- I $P = \dfrac{600 - 200}{2 - 4} = \dfrac{400}{2} = 200$
- J $P = \dfrac{650 - 650}{1 - 1} = 0$
- K $P = \dfrac{1350 - 1000}{1 - 2} = \dfrac{350}{1} = 350$
- L $P = \dfrac{1800 - 1800}{1 - 1} = 0$

Calculamos los costos directos y los costos indirectos para las redes normales y límites.

Para la Red Normal: (16 días)

Costo Directo Normal CDN = $ 10.850.

Costo indirecto día = $ 1.250.

Costo Indirecto Normal = 16 x $ 1.250. = $ 20.000.

Costo Total Normal = CDN + CIN = $ 10.850 + $20.000 = $ 30.850

Para la Red Límite: (11 días)

Costo Directo Límite = $ 13.150

Costo Indirecto Límite = 11 x $ 1.250 = $ 13.750

Costo Total Límite = CDL + CIL = $ 13.150 + $ 13.750 = $ 26.900

Se puede realizar un análisis de las pendientes en las actividades de la Ruta Crítica, tomando actividad por actividad, de acuerdo a la que tenga la menor pendiente, y elaborando la red, y proceder a calcularla, en cada análisis, para encontrar puntos intermedios entre la Red Normal y la Red Límite, para llevar a la Gráfica de Costos. Se puede lograr con el análisis, detectar que las actividades críticas de la Red Normal, se puede llevar a la red Límite o de colapso.

Gráfica de Costos

Figura Nr. 50

